

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

*Posouzení svahu zářezu na silnici I/57 u Fulneku*

*Assessment of the Cut Slope Stability of the Road I/57*

*by Fulnek*

Student:

Bc. Veronika Satková

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Roman Marek

Ostrava 2011

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: □ □ ..□ □ ..□ □ ..

□ □ ..□ □ ..□ □ ..□ □ ..

Podpis studenta

Prohlášení, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. autorský zákon, zejména § 35 užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užit (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užit dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užit své dílo diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:    ..    ..    ..

.....

Podpis studenta

# Anotace

Diplomová práce se zabývá svahem na silnici I/57 u Fulneku. Řešený sesuv se nachází poblíž křižení silnic I/47 a I/57. V práci je uveden popis dané lokality a jsou zde výsledky geotechnických a geologických průzkumných prací, které byly provedeny. Na základě těchto podkladů byly následně vytvořeny geometrické modely svahu pomocí softwaru GEO5 a Plaxis 2D 8.2. Cílem diplomové práce bylo posouzení stability svahu, vymodelování předpokládaného chování a následné navržení opatření.

# Abstract

The thesis deals with the slope on the I/57 road in Fulnek. The slide is located near the intersection of I/47 and I/57 roads. The thesis aims to describe the site and present the results of geotechnical and geological exploration performed. Based on the findings, geometric models of slope have subsequently been developed with software GEO 5 and Plaxis 2D 8.2. The aim of the thesis is to assess slope stability, modeling the expected behavior and design of appropriate.

# Klíčová slova

stupeň stability, smyková plocha, přitěňovací lavičky, metoda hřebíkování, sesuv, násyp, sanace násypu, Plaxis 2D 8.2

# Key words

degree of stability, shear area, benches, nailing method, landslide, mound, embankment rehabilitation, PLAXIS 2D 8.2

# Obsah diplomové práce

<b>ÚVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>1     SESUVY.....</b>	<b>2</b>
1.1         KLASIFIKACE SESUVNÝCH JEVŮ.....	2
1.1.1 <i>Průběh smykových ploch</i> .....	2
1.1.2 <i>Rychlost pohybu a mechanismu</i> .....	3
<b>2     INFORMACE O SESUVU A DANÉ LOKALITĚ .....</b>	<b>6</b>
2.1         VNĚKARPATSKÉ SNÍŽENINY .....	8
2.1.1 <i>Západní Vněkarpatská sníženina</i> .....	8
<b>3     VLASTNÍ PRŮZKUMNÁ ČINNOST SESUVU .....</b>	<b>10</b>
3.1         STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI JEMNOZRNÉ ZEMINY ČSN CEN ISO/ TS 17 892-2 .....	13
3.2         STANOVENÍ ZDÁNLIVÉ HUSTOTY PEVNÝCH ČÁSTIC ZEMIN POMOCÍ PIKNOMETRU ČSN CEN ISO/TS 17 892-3 .....	14
3.3         STANOVENÍ VLHKOSTI ZEMINY ČSN CEN ISO / TS 17892-1.....	15
3.4         STANOVENÍ ZRNITOSTI ZEMIN ČSN CEN ISO / TS 17892-4 .....	16
3.5         STANOVENÍ STLAČITELNOSTI ZEMIN V PEDOMETRU ČSN CEN ISO /TS 17892-5 .....	16
3.6         KRABICOVÁ SMYKOVÁ ZKOUŠKA ČSN CEN ISO / TS 17892-10 .....	17
3.7         STANOVENÍ KONZISTENČNÍCH MEZÍ ČSN CEN ISO / TS 17892-12 .....	18
3.7.1 <i>Mez plasticity postup zkoušky a vyhodnocení</i> .....	18
3.7.2 <i>Mez tekutosti postup zkoušky a vyhodnocení</i> .....	19
<b>4     METODY ŘEŠENÍ STABILITY SVAHU A ŘEŠENÍ GEOMETRICKÉHO MODELU POMOCÍ SOTWARU GEO 5 A PLAXIS 2D 8.2 19</b>	
4.1         METODA MEZNÍ ROVNOVÁHY.....	20
4.1.1 <i>Rovinná smyková plocha</i> .....	21
4.1.2 <i>Zakřivená smyková plocha (Kruhová smyková plocha)</i> .....	22
4.1.3 <i>Obecná smyková plocha</i> .....	23
4.2         ŘEŠENÍ GEOMETRICKÉHO MODELU .....	23
4.2.1 <i>Vlastní postup modelace v programu Plaxis 2D 8.2.</i> .....	24
4.2.2 <i>Vlastní postup modelace v programu GEO 5</i> .....	28
<b>5     SANAČNÍ OPATŘENÍ NÁSYPU, MODELOVÁ ANALÝZA .....</b>	<b>29</b>
5.1         SANACE POMOCÍ HŘEBÍKOVÁNÍ.....	30
5.2         PŘÍTÍŽENÍ V PATĚ SVAHU POMOCÍ LAVIČEK .....	31
5.3         MODELOVÁ ANALÝZA NÁVRH SANAČNÍHO OPATŘENÍ.....	34

<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>47</b>
7.1	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	47
7.2	SEZNAM POUŽITÝCH ELEKTRONICKÝCH DOKUMENTŮ .....	48
<b>8</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>50</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>51</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>51</b>

# Úvod

Reliéf krajiny se utvářel po několik miliónů let, a to nejen geomorfologickými posuny, ale i v důsledku zásahů člověka do její struktury. Některé z nich nebyly vždy šťastné, a proto se stále častěji setkáváme s nejrůznějšími problémy k řešení, například sesuvy.

Sesuvy vznikají jak u přirozených svahů, jejichž rovnovážný stav byl narušen, tak u svahů vzniklých inženýrskou činností, zde patří třeba násypy silničního a železničního tělesa, zemních hrází, přehrad, svahy výkopů pro nejrůznější účely.

První kapitola přibližuje blíže problematiku sesuvů hlavně z obecné stránky. Je zde jejich rozdělení z nejrůznějších hledisek a také různé druhy faktorů je ovlivňujících. V neposlední řadě jsou zde uvedeny i typy a příklady sanací dle daných požadavků svahů.

V další kapitole jsou uvedeny informace o řešeném svahu, jako je popis lokality, obecné informace o sesuvu a geomorfologické členění.

Vlastní průzkumná činnost sesuvu je podrobně vysvětlena ve třetí kapitole. Součástí jsou laboratorní zkoušky z odebraných vzorků sesuvu, fotodokumentace i popis jevu a náležitosti s tím spojené.

Po zhotovení všech zkoušek byly provedeny geometrické výpočty a modely pro posouzení stability svahu. Postup výpočtu a jejich varianty jsou podrobně rozepsány v následující kapitole.

V diplomové práci jsou dva hlavní zdroje informací. Jeden byl zajištěn paní Ing. Mikulákovou z Dopravoprojektu a.s. Brno, zasláním geologického vrtu, z kterého se při realizaci vycházelo. Druhým zdrojem byly hodnoty, získané mou osobou. Vycházely z laboratorních zkoušek z odebraných vzorků. To vše bylo doplněno o mé vypracování geometrických modelů a výpočty, které jsou opěrným bodem pro návrhy sanačních opatření s doporučeným řešením s přihlédnutím na ekonomickou stránku.

# 1 Sesuvy

Sesuv, nebo li náhlý pohyb svahu, při kterém dochází k sesouvání hmot je oddělený od pevného podloží smykovou plochou. Je to ale také výsledný morfologický tvar, který vznikl deformací svahu sesuvným pohybem. Pomalé a dlouhodobé deformace svahu patří také k sesuvným jevům, při nichž se vytváří celý systém jednotlivých smykových ploch. Toto je možné nazvat plastickým přetvářením svahů. [3].

Svahové pohyby mohou ohrožovat:

- a) lidská obydlí
- b) komunikační stavby
- c) tunelové stavby
- d) vodohospodářské stavby
- e) lesní porosty i zemědělskou půdu
- f) inženýrské sítě
- g) lomy
- h) může dojít k zahrazení celého údolí
- i) při vpádu horniny do jezer a přehrad může dojít k zanesení nebo dokonce i vzniku ničivých vln

## 1.1 Klasifikace sesuvných jevů

Sesuvy dělíme z různých hledisek do různých skupin, jak je v této kapitole uvedeno.

### 1.1.1 Průběh smykových ploch

- a) Asekventní - sesuv podél rotačních smykových ploch - stejnorodé soudržné zeminy
- b) Konsekventní - pohyb probíhá po předurčených rovinných plochách - zeminy, které jsou vrstevnaté, s puklinami
- c) Insekventní - smykové plochy zasahují hluboko do svahu - typické jsou velké rozměry, porušení prochází napříč vrstvami [3].



### 1.1.2 Rychlost pohybu a mechanismu

a) Ploučivý sesuv - pomalý, dlouhodobý, gravitační pohyb

- rychlost mm až cm/rok

- patří sem: rozvolňování svah, gravitační vrásnění, blokové pohyby, povrchové ploučení, slézání sutí [3].

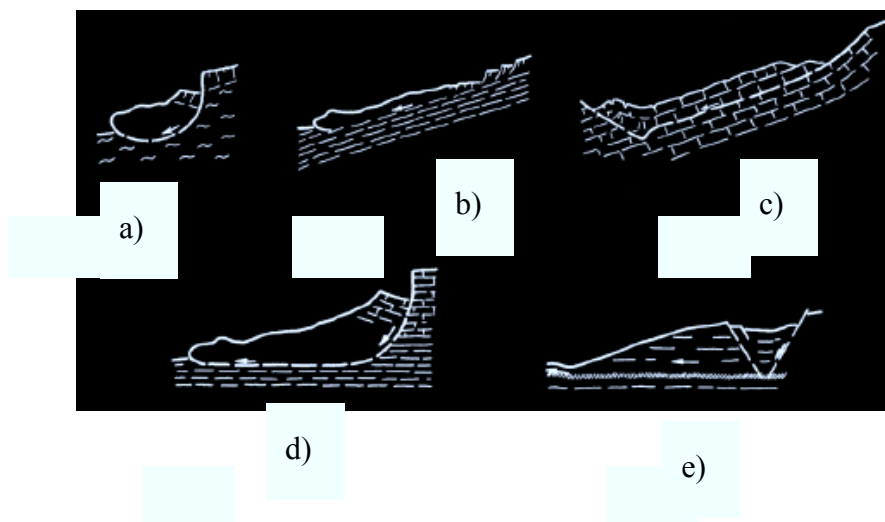
b) Sesouvání - krátkodobý klouzavý pohyb hornin podle jedné nebo více smykových ploch

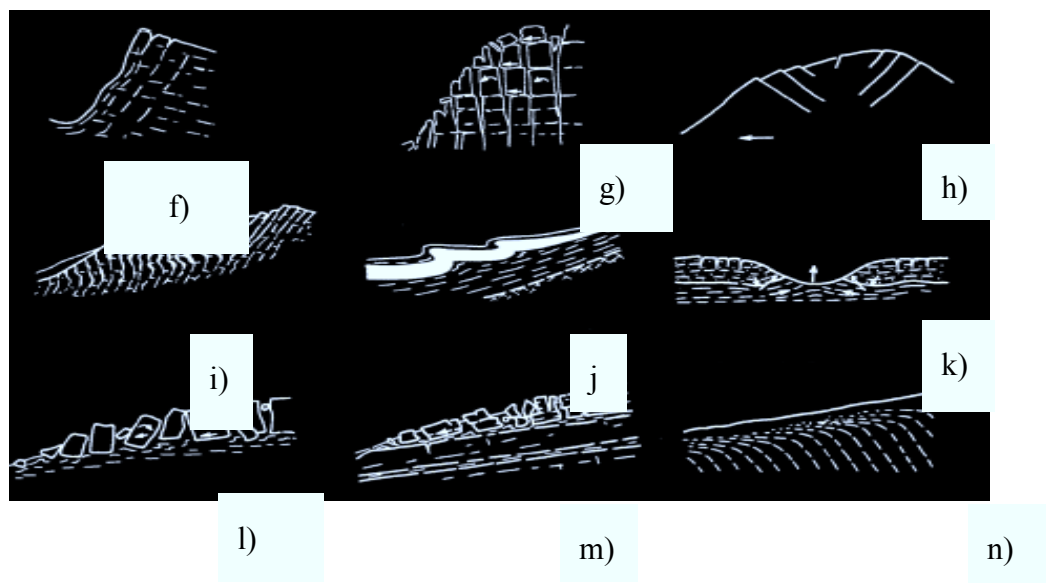
- rychlost je m/den

- patří sem: sesouvání podle rotační, rovinné a složené smykové plochy [3].

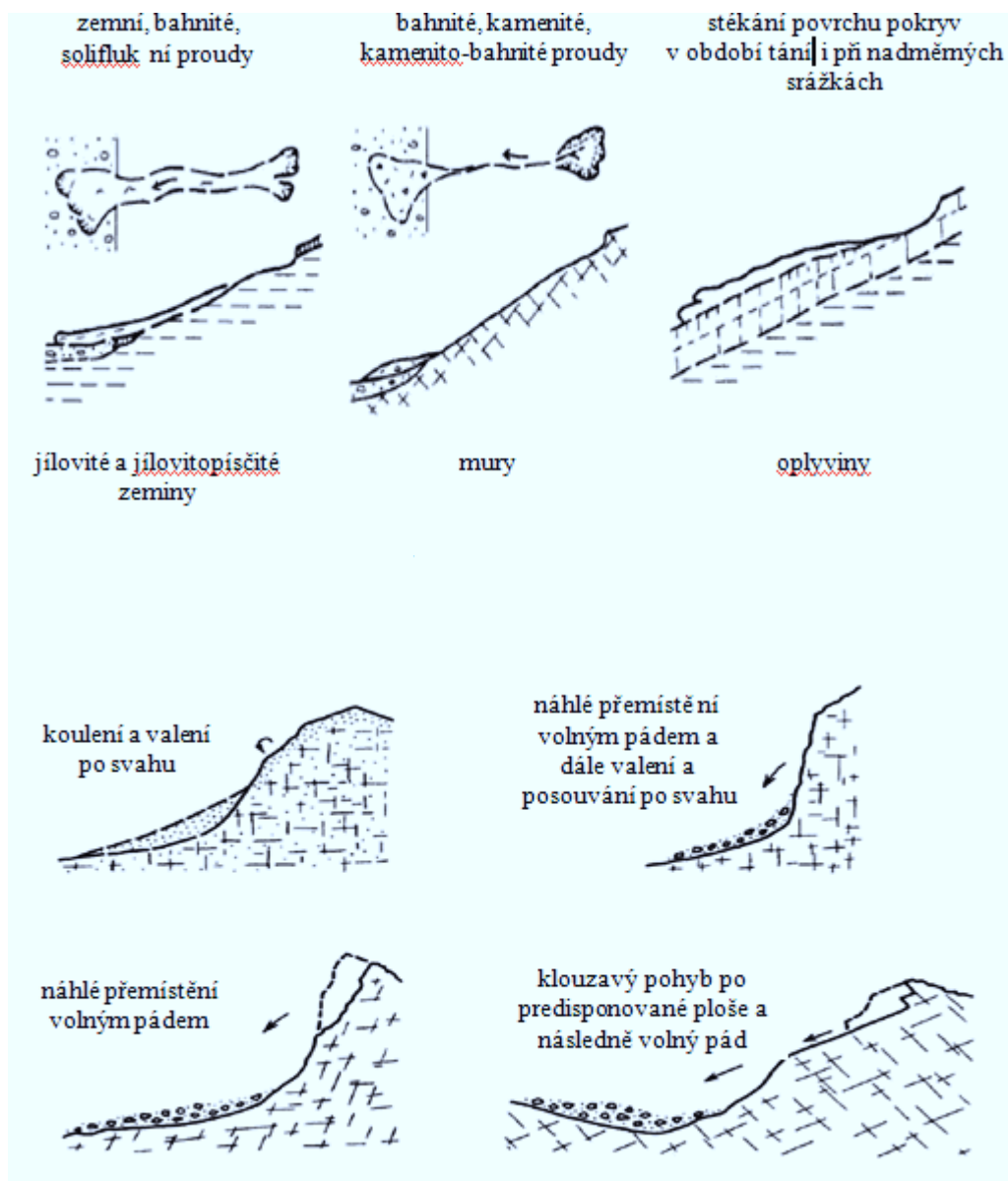
(Obr. 1): Znázornění možného sesouvání a ploučení; Zdroj [3].

a- podél rotační smykové plochy (v zeminách) ; b- podél planární smykové plochy (v zeminách); c- podél planární smykové plochy (ve skalních a poloskalních horninách); d- rotační-planární sesuvy (složená smyková plocha); e- horizontální či mírně skloněná smyková plocha (laterální sesuvy); f- rozvolnění svahu (rozvírání trhlin); g- rozvírání trhlin; h- rozpad horského hřebene; i- shrnutí zdvojeného hřebene; j- shrnutí (gravitační vrásy); k- shrnutí (zvedání); l- blokové pohyby na plastickém podloží; m- blokové pohyby po předem určené ploše; n- povrchové ploučení (slézání) sutí a svahových hlín





- c) Řícení - náhlý krátkodobý pohyb horninových hmot po strmých svazích
- rychlost m/s
  - postižené hmoty se rozvolní a ztrácejí krátkodobý kontakt s podloím
  - alespoň část pohybu probíhá volným pádem
  - patří sem: sesypání, opadávání úlomků, odvalové řícení.
- d) Tečení - rychlý krátkodobý pohyb horninových mas ve viskózním stavu
- rychlost m až km/hod
  - vrstvy ostře ohraničeny od neporučeného podloí
  - patří sem: stékání svahových uloženin, zemní a kamenité proudy [3].



Odvalové říčení

planární říčení

(Obr. 2): Příklady říčení; Zdroj[3].

## 2 Informace o sesuvu a dané lokalitě

Řešený sesuv v této diplomové práci se nachází, jak je možno vidět na (obr. 3) poblíž města Fulnek na křižování silnic I/57 a I/47. V blízkosti je retenční nádrž, která je vyfocena na obrázku (obr. 4). Ta je vybudována pro zadržení vody stékající z přilehlé silnice I/57 a je napojena na místní potok spolu s drenážním systémem, který je pod okolní plání rozmístěn. Na tuto drenáž je napojen i propustek jdoucí svahem násypu.

Celá oblast se skládá ze zemin málo vhodných pro zachování dlouhodobé stability.



(obr. 3) Mapa místa sesuvu; Zdroj [19].



(obr. 4) Fotografie retenční nádrže; Zdroj [25]



Sesuv v dané lokalitě by mohl být zatříděn dle výše uvedeného rozdělení jako rotační planární sesuv.

Dle pořízených leteckých snímků (obr. 5) a dostupné dokumentace je zřejmé, že těleso bylo řešeno jako násyp v blízkosti původní komunikace, která je dnes jako účelová komunikace.



(obr. 5) Srovnání leteckých snímků z roku 1955 a satelitní snímky z dnešních internetových záznamů;  
Zdroj: [26]

Geomorfologické členění Vněkarpatské sníženiny :

→ Západní vněkarpatská sníženina

→ Oderská brána

→ Klimkovická pahorkatina

## 2.1 Vněkarpatské sníženiny

Tyto sníženiny jsou geomorfologickou soustavou, kterou představuje pruh nížního a méně členitého terénu na Moravě a ve Slezsku. Probíhá od Znojma přes Brno, Vyškov, Přerov, Hranice až k Ostravě. Zaujímá plochu 3933,75 km<sup>2</sup>

Morfostrukturně je tato sníženina součástí karpatské předhlubně, která vznikla před čelem vrásnicích se Vnějších Západních Karpat. Jsou vyplněny převážně neogenními a čtvrtohorními usazeninami, z nichž místy ční kry starších hornin.

Sníženina se vyznačuje rovinným a pahorkatinám povrchem s měkkými tvary, jejich omezení vůči starším pohořím na severozápadě je většinou výrazné (zlomové svahy) a vůči mladším pohořím na jihovýchodě méně výrazné. Dělí se na podsestavy Západní Vněkarpatská sníženinu a Severní Vněkarpatská sníženinu.[5]

### 2.1.1 Západní Vněkarpatská sníženina

Kromě výše uvedených popisných vlastností této oblasti, jsou součástí této lokality Dyjsko-svratecký a Hornomoravský úval, ty jsou spojeny údími sníženinami Vyškovské a Moravské brány. Většinou jsou pokryty úrodnými poli a loukami a v nivách vodních toků se vyskytují zbytky lučních lesů.

#### 2.1.1.1 Moravská brána

Tento celek se rozkládá v severozápadní části Západních Vněkarpatských sníženin v povodí řek Moravy a Odry. Nachází se zde bádenské sedimenty a v severovýchodní části jsou uloženy pleistocenního kontinentálního zalednění z doby halštrovského a sálského zalednění. Spolu s rozsáhlými pokryvy spraší se zde najdou i sprašové hlíny.

#### 2.1.1.1.1 Oderská brána

Je pod celkem severovýchodní části Moravské brány a zároveň i plochou pahorkatinou v povodí řeky Odry severovýchodně od hlavního evropského rozvodí. Plocha 378,69 km<sup>2</sup> se rozprostírá převážně na sedimentech pleistocenního pevninského zalednění překrytých sprašovými hlínami. V této oblasti převládají louky a pole.

##### 2.1.1.1.1.1 Klimkovická pahorkatina

Zasahuje do CHKO Poodří jen malými výběžky u Jistebníku, Pustějova a Hladkých Bítovic. Vznikla převážně na sedimentech pleistocenního pevninského ledovce a ty jsou pokryty sprašovými hlínami. Svah údolí Odry je mírný, převážně krytý sprašovými hlínami a při jeho úpatí u Mankovic a Polanky vystupují třerky hlavní terasy řeky. [5]



(obr. 6) Mapa geomorfologického členění ČR Zdroj [18 ]



### 3 Vlastní průzkumná činnost sesuvu

Průzkumná činnost byla započata odběrem vzorků v krizovém místě sesuvu v jarním období, kdy byly pořízeny i snímky zájmové oblasti viz (obr. 7). To proto, aby byly zajištěny co nejméně příznivé podmínky a vlastnosti vzorku.



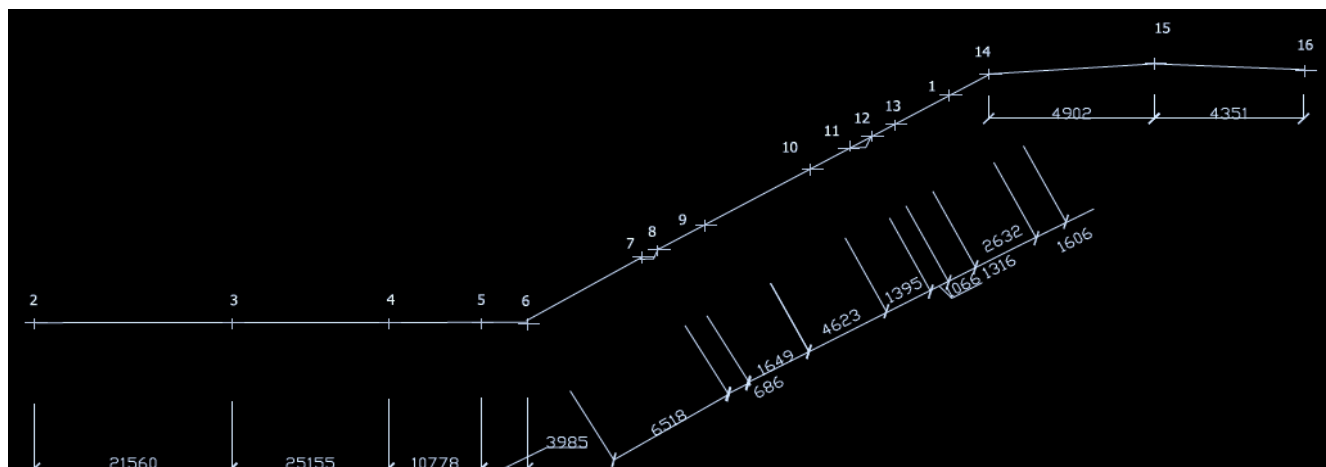
(obr. 7) Vlastní fotodokumentace svahu; Zdroj: [autor, foto]

Zemina nebyla ještě pokryta vegetací, a proto bylo i lehce rozpoznatelné místo sesuvu, jak lze vidět na (obr. 7).

Byly odebrány dva neporušené vzorky půdy po odkopání ornice, jež měla 30cm, které byly dále zkoušeny v laboratořích. Další vzorek byl již porušený, ale pro dané potřeby zkoušek dostačující.

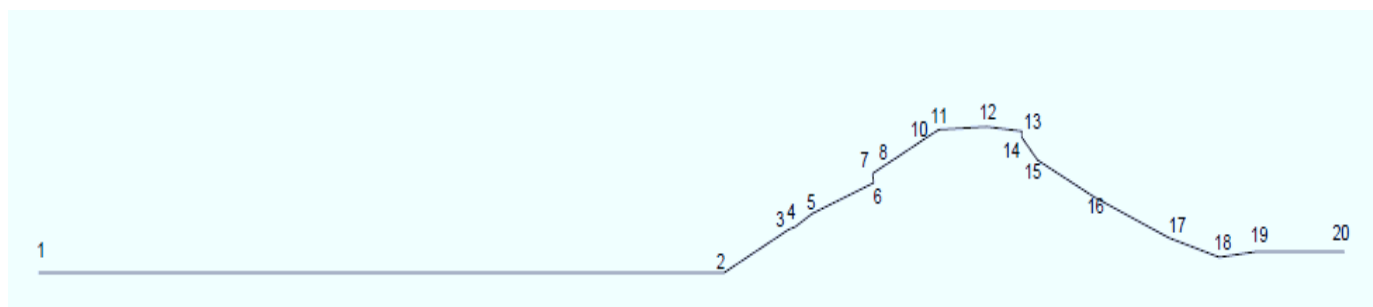
Po odebrání vzorků byl daný svah zaměřen totální stanicí a odečteny výšky a příslušné délky. Pomocí zaměřených dat byl v softwaru vygenerován příčný řez svahem, jak můžete vidět na (obr. 8). Z hodnot bylo možné vypočítat i příslušný sklon svahu, který je  $\alpha=26^\circ$  a výška svahu 9,410m





(obr. 8) Náskres profilu svahu; Zdroj [autor, AutoCAD2010]

Toto zaměření se posléze ukázalo jako nedostačující, a proto bylo zaměřeno i druhé rameno svahu. Konečný profil svahu tedy je možno vidět na (obr. 9). Jak je i z nákresu zřejmé, nejedná se o svah v zářezu, nýbrž o svah řešený jako násyp.



(obr.9) Náskres aktualizovaného profilu svahu; Zdroj [autor, AutoCAD2010]

Jak už bylo výše zmíněno, diplomová práce má dva hlavní zdroje informací a těmi byl vrt, který byl poskytnut paní Ing. Mikoláškovou s DOPRAVOPROJEKTU Brno a.s. a informace vyhodnocené pomocí vlastních laboratorních zkoušek.

Vzorky byly zkoušeny dle předepsaných příslušných norem, abychom zjistili potřebné parametry. Byla zjišťována tedy:

1. Objemová hmotnost dle ČSN CEN ISO/ TS 17 892-2
2. Měrná hmotnost dle ČSN CEN ISO/TS 17 892-3
3. Vlhkost zeminy dle ČSN CEN ISO / TS 17892-1
4. Zrnitost dle ČSN CEN ISO / TS 17892-4
5. Přetvárné parametry zeminy dle ČSN CEN ISO / TS 17892-5

6. Pevnostní parametry zeminy dle ČSN CEN ISO / TS 17892-10
7. Konzistenční meze dle ČSN CEN ISO / TS 17892-12

Vyhodnocením těchto zkoušek byly zjištěny vstupní parametry pro zhotovení modelů a následný návrh sanačních opatření. Jejich hodnoty uvedené v příloze č. 1, byly použity do geometrických modelů vyhotovovaných programy GEO5 a PLAXIS 2D 8.2. Výstupům z těchto programů je věnována jedna z kapitol této práce a vyhodnocení s výsledky jsou doloženy výstupy v přílohách č. 4-6.

Pro porovnání, a co nejpřesněji zhodnocení stability svahu, byly vytvořeny dvě varianty modelů. Obě byly vyhotoveny v obou již uvedených softwarech a dále porovnávány.

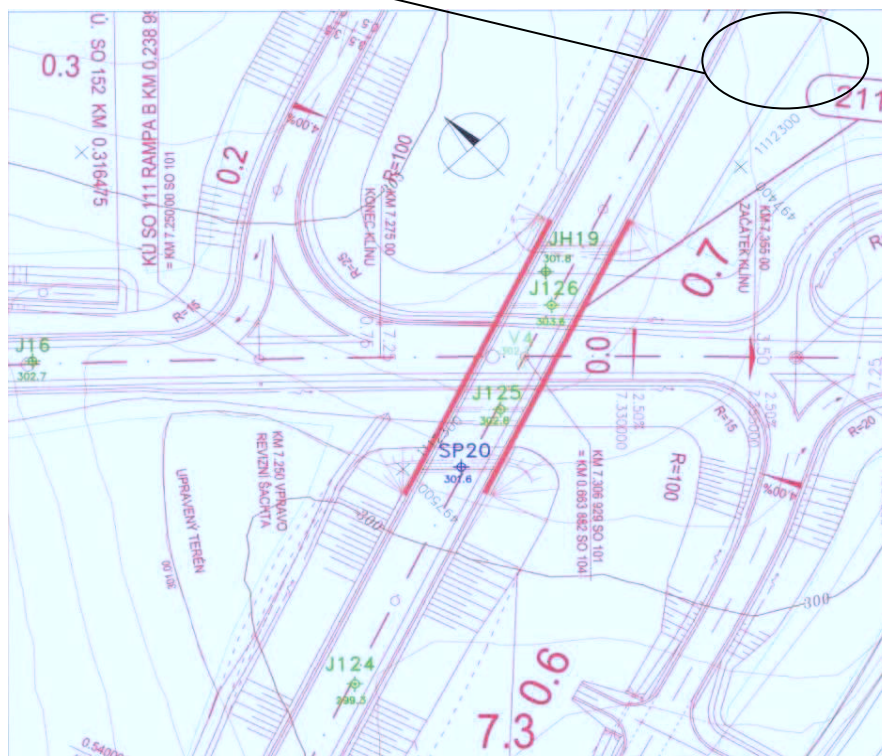
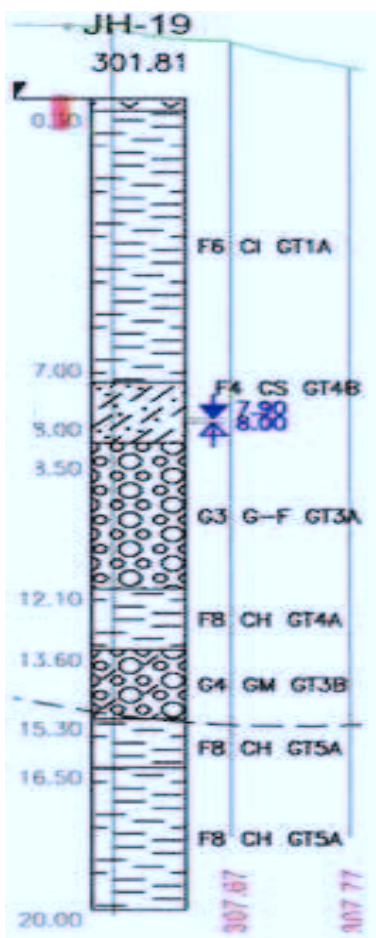
Varianta jedna zahrnuje informace získané laboratorními zkouškami z odebraných vzorků zeminy. Svah byl modelován tak, že násyp je složen z odebraných vzorků a podloží je stanoveno dle dostupného vrtu. Nebylo však možné získat všechny hodnoty, protože některé byly neměřitelné. Jde hlavně o pevnostní parametry odebraného vzorku. Proto byly stanoveny dle směrných normových charakteristik a byla brána jejich střední hodnota. Stejně tak byly brány střední hodnoty směrných normových charakteristik pro hodnoty podloží. Zdůvodnění použitých hodnot a podrobněji popis všech užitých variant je popsán v kapitole, která se tím blíže zabývá.

Do další modelované varianty byly zahrnuty zeminy a jejich parametry dle vrtu, který byl dodán DOPRAVOPROJEKTEM Brno a.s., jejichž skladba je v nákresu na (obr. 10). Jelikož nebyla dokumentace vrtu úplná, bylo bohužel nutno brát parametry jednotlivých zemin dle směrných normových charakteristik. Protože nebylo možné s určitostí říci, které z hodnot do výpočtu zahrnout, byla zhotovena varianta se středními hodnotami zemin, aby byl posudek na straně bezpečné.

Ve vrtu byla stanovena hladina podzemní vody. Předpokladem pro práci bylo, že její tvar pravděpodobně popisuje průběh exponenciální funkce s tím, že nejvyšší bod hladiny podzemní vody byl stanoven dle vrtu na 8m pod terénem násypu.

Všechny varianty, jejich vstupní parametry a zhodnocení svahu byly shrnuty pro přehlednost do jedné tabulky a přiloženy ke kapitole zabývající se tvorbou modelů v softwarech GEO5 a PLAXIS.

Zájmová  
oblast



(Obr.10) Vrt geologického průzkumu a výřez situace z projektové dokumentace Zdroj [Dokumentace Dopravoprojekt Brno s.r.o.]

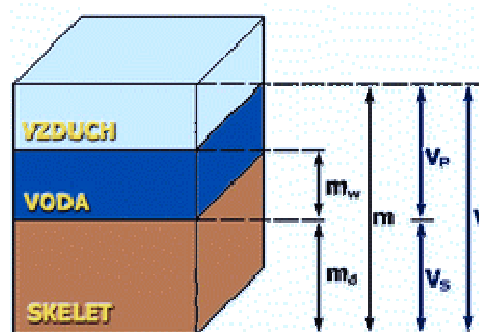
### 3.1 Stanovení objemové hmotnosti jemnozrné zeminy

$m$  - hmotnost přirozeně vlhkého vzorku

$V$  - objem přirozeně vlhkého vzorku

$$\rho = m/V \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Vzorec 1, Výpočet objemové hmotnosti; Zdroj: [6]



(obr. 11) Schematický náčrtek vyjádření pórovitosti Zdroj [21]

Podstatou zkoušky je stanovení hmotnosti objemové jednotky zeminy. Stanoví se jako podíl hmotnosti zeminy a jejího objemu. V laboratoři se stanovuje objemová hmotnost pomocí vyřezávacího kroučku, přímým výpočtem objemu (u vzorků pravidelného geometrického tvaru) nebo pomocí vážení pod vodou. Z toho vyplývá omezení použitelnosti laboratorních metod na tyto typy zemin:

- jemnozrnné soudržené zeminy, konzistence měkká a tvrdá bez písčité příměsi - metoda odběrného kroučku či válce, metoda vážení pod vodou
- jemnozrnné soudržené zeminy, konzistence tvrdé - metoda vážení pod vodou
- jemnozrnné soudržené zeminy s písčitou příměsí do 2 mm, ojedinělá zrna nebo úlomky do 4 mm - metoda odběrného válce.

Postup výpočtu a hodnoty z něho plynoucí jsou uvedeny v příloze č. 1 v kapitole 1.1.

### **3.2 Stanovení zdánlivé hustoty pevných částic zemin pomocí piknometru ČSN CEN ISO/TS 17 892-3**

Měrnou hmotností se rozumí podíl hmotnosti pevných částic zeminy  $m_s$  k objemu těchto částic  $V_s$ .

#### Pomůcky:

- teploměr
- vařič
- pyknometr
- váhy

#### Postup zkoušky:

Suchý čistý pyknometr zvažíme s přesností na 0,001g ( $m_1$ ). Zvažíme i se zátkou.

Do pyknometru byl nasypán vzorek frakce do 0,125mm do 1/3 výšky pyknometru a zvažíme s přesností na 0,001g ( $m_2$ ). Pak dolito cca do 3/4 výšky pyknometru vodou a uveden do mírného varu (vaříme bez zátky). Vzorek byl vařen cca 15 min. Poté se pyknometr doplnil destilovanou vodou, uzavřel se zátkou a temperoval se na 20 °C. Osušený pyknometr byl zvážen ( $m_3$ ).

#### Vyhodnocení:

Dosazením do následujícího vztahu byla vypočtena měrná hmotnost:

$$\rho_s = \frac{(m_2 - m_1)\rho_v}{\rho_v V + m_2 - m_3} \left[ \text{g} / \text{cm}^3 \right] \quad \text{Vzorec 2, výpočet měrné hmotnosti Zdroj: [8]}$$

$$\text{kde } V = \frac{m_v - m_1}{\rho_v} \quad \text{Vzorec 3, Výpočet objemu Zdroj: [8]}$$

$\rho_v$  – měrná hmotnost vody při 20°C (0,9982 g/cm<sup>3</sup>)

$m_v$  - vodní hodnota pyknometru

Postup výpočtu a výsledné hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 1 v kapitole 1.2.

### 3.3 Stanovení vlhkosti zeminy ČSN CEN ISO / TS 17892-1

Vlhkostí zeminy rozumíme množství vody, obsažené v zemině, které je možno

odstranit ze zeminy při teplotě 100-110°C do ustálené hmotnosti. Vyjadřuje se jako podíl hmotnosti vody k hmotnosti vysušené zeminy.

$$w = \frac{m_w}{m_d} \quad \text{Vzorec 4, Výpočet vlhkosti Zdroj: [8]}$$

$m_w$  □ .. hmotnost vody v pórech

$m_d$  □ ... hmotnost vysušené zeminy

#### Postup zkoušky:

Do čisté, vysušené a předem zvážené válenky (hmotnost  $m_1$ ) bylo vloženo cca 50g jemnozrnné zeminy, obsahující zrna do průměru 2 mm a odváží se (hmotnost  $m_2$ ). Válenka byla umístěna do sušičky a zemina vysušena do ustálené hmotnosti (24 hodin). Po vysušení válenka vychladla. Pak byla zemina zvážena i s válenkou (hmotnost  $m_3$ ).

#### Vyhodnocení:

Po dosazení do vzorce byla zjištěna vlhkost:

$$w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \quad \text{Vzorec 5, Výpočet vlhkosti Zdroj: [9]}$$

Výsledky vyhodnocení a celý výpočetní postup je vyhotoven v příloze č. 1 v kapitole 1.3.

### 3.4 Stanovení zrnitosti zemin ČSN CEN ISO / TS 17892-4

Zrnitost nebo li granulometrické složení zemin, udává hmotnostní podíl jednotlivých velikostních skupin zrn zeminy na celkovém složení zeminy.

Granulometrické složení zeminy znázorňujeme graficky křivkou zrnitosti, což je součtová čára, jejíž každým bodem udává, kolik procent z celkové hmotnosti vzorku činí hmotnost všech zrn menších než určitý průměr zrna  $d$  v milimetrech.

Prosévací zkoušku (sítový rozbor) byla provedena pro zeminy s ekvivalentním průměrem  $> 0,063\text{mm}$ . Je-li podíl propadu skrz nejmenší síto ( $0,063\text{mm}$ ) větší než 10% je nutné provést hustoměrnou zkoušku.

#### Postup zkoušky:

Pro písky byla volena hmotnost navážky 100 – 500g.

Zemina byla upravena tak, aby byla od sebe oddělena jednotlivá zrna. Takto připravenou navážku nasypána na síta, umístíme do prosévacího přístroje a minimálně 6 minut prosévána. Zbytky na jednotlivých sítích byly odváženy ( $G_z, i$ ) a vypočten procentuální podíl z celkové navážky. Vše bylo prováděno pro tři vzorky.

#### Vyhodnocení:

Výsledné hodnoty se vynesly do formuláře pro křivku zrnitosti, které můžete vidět v příloze č. 1 v kapitole 1. 4 a provedlo se zařazení zeminy dle ČSN 73 6133.

### 3.5 Stanovení stlačitelnosti zemin v pedometru ČSN CEN ISO /TS 17892-5

Tímto názvem se označují parametry oedometrický modul přetvárnosti a oedometrický modul pružnosti, ty se využívají při výpočtu sedání. Grafickým řešením je oedometrická křivka stlačitelnosti.

- Odběr vzorků zeminy s úloží vlhkostí
- Stanovení počáteční výšky vzorku  $h$  a počátečního objemu  $V_0$  (v závislosti na velikosti oedometrického prstence)
- Zkušební vzorek umístěn do oedometrického prstence mezi suché filtrační destičky (rovnoměrně po celé ploše válce).

d. Nanese 1. stupeň zatížení, který by měl zhruba odpovídat geostatickému napětí v hloubce odběru (v našem případě závaží o hmotnosti 5kg vytvoří napětí 0.05 MPa).

e. Záznam hodnoty stlačení  $\Delta h$  odpovídající ustálenému sedání.

f. Postupné nanášení dalších zatěžovacích stupňů. Napětí ve zvoleném časovém odstupu postupně zvyšují, a dosáhneme napětí asi o 30% vyšší, než jakému má být zemina v budoucnu vystavena (vhodné jsou např. stupně (0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 MPa))

Z výsledků měření byla stanovena závislost poměrného přetvoření na napětí a dále příslušný modul přetvárnosti.

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h}$$

Vzorec 6, Výpočet přetvoření; Zdroj: [11]

$$E_{\text{edom}}(\text{zatížení}) = \frac{\sigma_{i+1} - \sigma_i}{\varepsilon_{\text{zat}}^{i+1} - \varepsilon_{\text{zat}}^i}$$

Vzorec 7, Výpočet modulu přetvárnosti; Zdroj: [11]

Vyhodnocení a příslušný výpočet je podrobněji rozepsán v příloze č. 1 v kapitole 1.5.

### 3.6 Krabicová smyková zkouška ČSN CEN ISO / TS 17892-10

Zkouška slouží ke zjištění pevnostních parametrů zeminy ( $c$  – soudrnost,  $\varphi$  – úhel vnitřního tření). Pevnost zeminy je nutné znát ke statickému řešení úloh z mechaniky zemin pro výpočet únosnosti zemin, stability svahu, výpočet zemních tlaků atd. Při namáhání zeminy dojde nejčastěji k porušení smykem. Smyková pevnost zeminy  $\tau$  = smykové napětí, při němž se vzorek zeminy usmykne při stálém normálovém napětí  $\sigma$

Platí :

$$\tau = \frac{T}{A}, \quad \sigma = \frac{N}{A}$$

Vzorec 8, Výpočet smykové a normálové síly; Zdroj: [12]

$T$  – smyková síla ve smykové ploše

$N$  – normálová síla ke smykové ploše

$A$  – velikost smykové plochy

#### Postup zkoušky:

Vzorek zeminy byl vložen do smykové krabice mezi porézní destičky, přičemž vzájemná poloha nepohyblivé a pohyblivé části krabice se zajistila odnímatelnými kovovými kolíky procházející oběma částmi krabice. Nejmenší napětí by mělo odpovídat napětí geostatickému, které působilo na zeminu v té hloubce, odkud byl vzorek odebrán. Bylo zvoleno 0,05 MPa. Po zatížení vzorku se vyčká konsolidace zeminy (délka konsolidace závisí na typu zeminy).

K výpočtu smykového napětí se použije kalibrační křivka příslušného dynamometru, umožňující přepočítání mezi deformací a smykovou silou.

#### Vyhodnocení zkoušky:

Výsledky zkoušky se znázorňují do grafu závislosti smykového napětí na normálovém napětí, vykreslí se Mohrova obálka pevnosti, vyhodnotí základní parametry smykové pevnosti – úhel vnitřního tření a soudržnost.

Tato zkouška byla provedena dle uvedeného postupu, avšak odebrané vzorky měly natolik malou hodnotu zjišťovaných parametrů, že se nedaly veličiny odměřit. Proto byly hodnoty brány z tabulky směrných normových charakteristik.

### **3.7 Stanovení konzistenčních mezí ČSN CEN ISO / TS 17892-12**

Do těchto hodnot řadíme mez tekutosti, to je vlhkost, při které zemina přechází ze stavu plastického do stavu tekutého (jedna z Atterbergových mezí), určuje se pomocí tzv. Vasilievova kužele. A mez plasticity, to je vlhkost zeminy, při které zemina přechází ze stavu pevného do tuhého, to znamená, při které se váleček zeminy o průměru 3 mm začíná drolit na 8 – 10 mm dlouhé kousky.

#### **3.7.1 Mez plasticity postup zkoušky a vyhodnocení**

Zeminu frakce pod 0,5 mm byla dána do misky, přidáno malé množství vody a důkladně promícháno. Z promíchané zeminy bylo odebráno malé množství vzorku a zformováno do kuličky. Kulička byla rozválena po laboratorním skle a do vytvoření válečku o průměru 3 mm. Když se po dosažení 3 mm váleček drolil na 8 – 10 mm dlouhé úseky, byl odebrán vzorek na vlhkost. Tento postup se opakoval 3krát.



Získané hodnoty byly zprůměrovány a takto získaná průměrná hodnota vlhkosti je označena jako vlhkost na mezi plasticity ( $w_p$ ). Celý postup výpočtu a konkrétní hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 1 v kapitole 1.6.1

### 3.7.2 Mez tekutosti postup zkoušky a vyhodnocení

Pro stanovení meze tekutosti bylo třeba cca 200g zeminy proseté sítem s otvory o velikosti 0,4mm nebo jí nejbližší. Zeminu byla dána do keramické misky vodou (ne příliš velké množství) a stěrkou pečlivě promícháváno (ne se všechna zrna rovnoměrně obalí vodou). Promísěným vzorkem byla po okraj naplněna hliníková miska (nesmí zůstat vzduchové bubliny) a povrch zarovnáme laboratorním nožem.

Poté byla miska vložena bezprostředně pod špičku kužele, provedeno počáteční čtení na měřidle poklesu a spuštění přístroje. Po ukončení vnikání kužele do zeminy byl proveden opět odečet na měřidle a stanoven jejich rozdíl. Tato hodnota by měla být v intervalu 10-30 mm. Z hliníkové misky byl nakonec odeberán cca 20g zeminy pro zjištění vlhkosti. Celý postup byl opakován ještě 3x.

#### Vyhodnocení:

Závislosti mezi vlhkostmi a příslušnými hloubkami zaboření hrotu se v měřítku vynesly do grafu, kde na vodorovnou osu byly vyneseny hloubky zaboření a na svislou osu příslušné vlhkosti v %. Získanými body se proložila přímka a odečetla se vlhkost odpovídající zaboření hrotu do hloubky 20 mm, což je hledaná vlhkost na mezi tekutosti ( $w_L$ ). Veškeré hodnoty a podrobný výpočet je uveden v příloze č.1 v kapitole 1.6.2.

## 4 Metody řešení stability svahu a řešení geometrického modelu pomocí softwaru GEO 5 a PLAXIS 2D 8.2

S poruchami se u svahů setkáváme jak v případě přirozených svahů, tak u svahů umělých tedy násypů, vzniklých inženýrskou činností. Jsou to hráze, násypy komunikačních těles, přehradý nebo svahované výkopy. Zjistit proč svah ztrácí stabilitu a navrhnout sklon svahovaných těles je důležité jak z hlediska ekonomického, tak z důvodů ochrany půdy. Podrobnější přístup závisí na složitosti podmínek a důležitosti navrhovaného svahu. Využívají se čtyři různé přístupy. [3]

- 1) Metoda mezní rovnováhy - řeší stabilitní problém srovnáním pasivních a aktivních sil na určité smykové ploše a postupně vyhledává plochu s nejmenším stupněm stability.
- 2) Metoda mezního stavu rovnováhy - využívá Rankinovy teorie, řeší kritickou výšku svahu o určitém sklonu a daných smykových parametrech. Tato metoda je málo používaná.
- 3) Metoda řešení napjatosti a deformace zemního tělesa - stanovuje přetvoření celého svahu (jako celku), nebo jeho jednotlivých částí, umožňuje srovnávat vypočtenou napjatost a napjatost při deformaci.
- 4) Nomogramy, tabulky - při návrhu sklonu vycházejí z praktických zkušeností nebo z vyřešených případů. Doporučené sklony svahů pro výkopy jsou uvedeny v normě. [3]

Při řešení stability svahů se vzhledem k jednoduchosti dají využívat metody mezní rovnováhy a ve složitějších případech lze uplatnit výpočet metodou řešení napjatosti a deformace zemního tělesa, při níž se využívá softwaru na to určeného.

#### 4.1 Metoda mezní rovnováhy

Metoda uvažuje s rovnováhou sil na zvolené smykové ploše. Ta může mít různý tvar. U homogenních soudrných zemin má tvar zakřivený, nejčastěji podobný kruhové ploše. U homogenních nesoudrných zemin se pak jedná o smykovou plochu rovinného tvaru. U zemin pevnostně anizotropních, či nehomogenních má smyková plocha tvar obecný, odpovídající minimálnímu odporu.

Stupeň stability svahu je značen  $F$ . Jedná se o poměr maximální smykové pevnosti svahu k působící smykové síle ve svahu. Pokud bychom to chtěli zkonkretizovat, pak se jedná o poměr pasivních sil, jež nám svah stabilizují a sil aktivních, které přispívají k pravému opaku. Pro výpočet stupně stability pak používáme rovnici, viz vzorec 1.

$$F = \frac{\text{Pasivní síly}}{\text{Aktivní síly}}$$

Vzorec 8 Výpočet stupně stability; Zdroj [3]

Tento vzorec neodpovídá skutečnému chování zeminy, protože neuvažuje s navýšením pevností během přetváření, ale je často používán pro svou jednoduchost. Výpočet ovlivněný smykovou pevností má tři typy vyjádření:

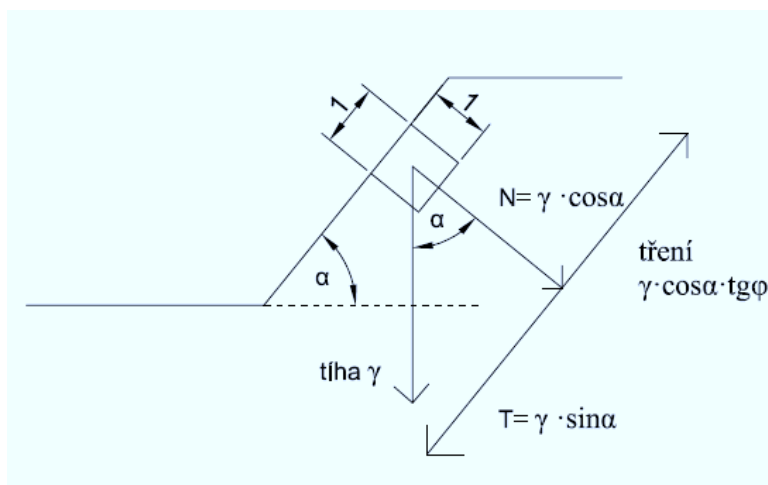
- Výpočet v totálních napětích s využitím totálních parametrů smykové pevnosti.
- Výpočet v efektivních napětích s využitím pórového tlaku - zde stanovujeme totální napětí na smykové ploše a působící pórový tlak.
- Výpočet v efektivních napětích s využitím proudového tlaku vody - zde stanovujeme efektivní napětí na smykové ploše pomocí efektivní tíhy zeminy a proudového tlaku.

#### 4.1.1 Rovinná smyková plocha

Pokud zeminy tvoří rovinou smykovou plochu, pak lze výpočet stability počítat jako rovnováhu sil na nakloněné rovině. Síly rozkládáme na sílu kolmou na smykovou plochu, je násobíme tangentou úhlu vnitřního tření, a sílu rovnoběžnou s touto plochou. Jejich poměr pak udává stupeň stability  $F$ . U tohoto výpočtu lze zanedbat účinek bočních sil (viz obr. 12). [3]

Voda svahem neprosakuje

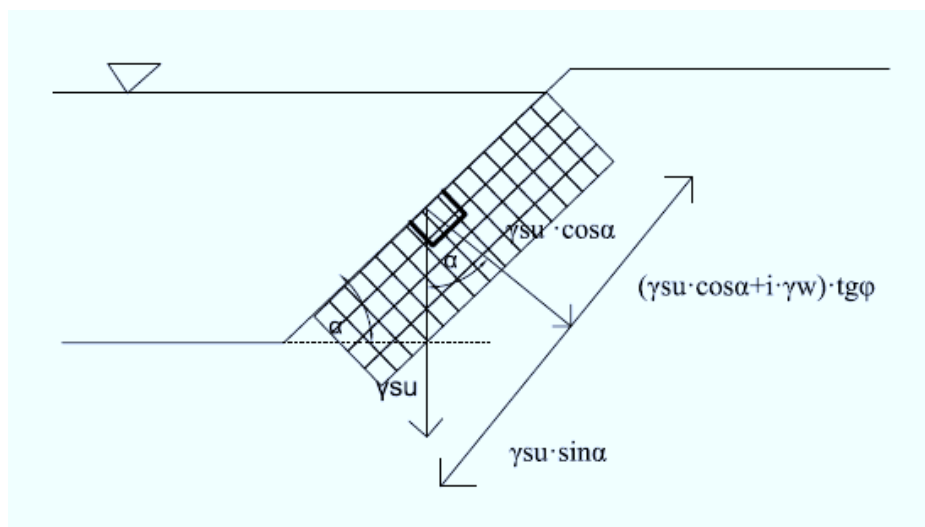
(Obr. 12) Rozklad sil na rovinné smykové ploše bez průsaku vody, Zdroj: [autor, AutoCAD2010]



Pro případy, kdy voda prosakuje, je třeba počítat s menší stabilitou. Důležitou roli v tomto případě hraje výška hladiny vody a směr proudění. Tento případ je zřejmý na obrázku (obr. 13)

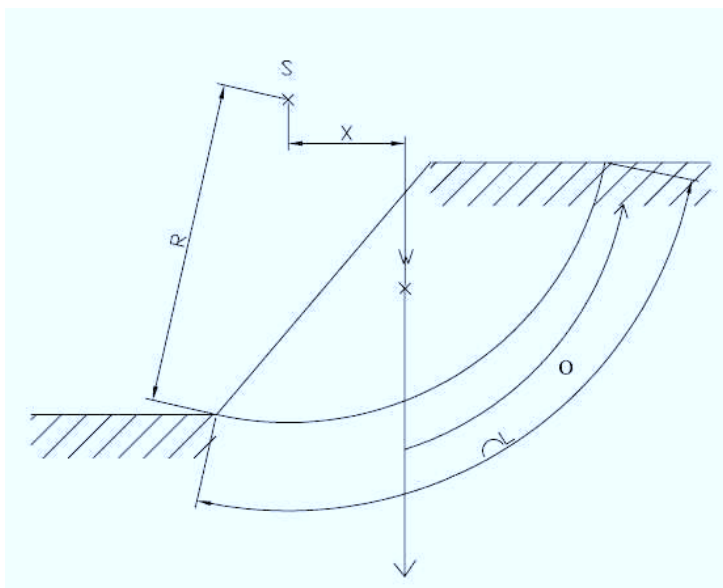
a) Voda svahem prosakuje

(Obr. 13) Rozklad sil na rovinné smykové ploše s průsakem vody, Zdroj: [autor, AutoCAD2010]



#### 4.1.2 Zakřivená smyková plocha (Kruhová smyková plocha)

Zakřivený tvar smykové plochy je výsledkem výpočtu pro stabilitu svahu u soudržných zemín. Je dán svým poloměrem a středem. Výpočet probíhá z momentové podmínky ke středu a vstupují do něj síly aktivní a pasivní, obě vynásobené příslušným poloměrem smykové plochy. viz (obr. 14). Rovnovážný stav nastává při rovnosti momentů. V praktickém výpočtu se využívá rozdělení svahu na proužky a výpočet je možné provádět s uvažováním sil od sousedních proužků, nebo bez nich. [3]



(Obr. 14) Rozklad sil na kruhové smykové ploše, Zdroj: [autor, AutoCAD2010]

#### 4.1.2.1 Pettersonova metoda

Pettersonova metoda je nejstarší a nejjednodušší metodou řešení stability svahu zemního tělesa.

Tato metoda se používá u jednoduchých výpočtů. Neuvažuje s vlivem spolupůsobení okolních proužků na sebe, a proto jsou výsledky tímto poznamenány. [3]

#### 4.1.2.2 Bishopova metoda

Při výpočtu dle Bishopa uvažujeme síly od sousedních proužků a dosahujeme přesnějších výsledků. U výpočtu stupně stability vycházíme z momentové podmínky stejně jako u Pettersona a dále z rovnováhy sil ve svislém směru pro každý proužek. [3]

#### 4.1.3 Obecná smyková plocha

Při výpočtu stability svahů tvořených nehomogenními zeminami, nebo v případech vrstevnatých zemin, je nutno počítat stabilitu pro obecné smykové plochy. Nabízí se dva způsoby řešení.

- Proužkové metody, stejně jako u kruhových smykových ploch dělí svah na proužky, ale smyková plocha má obecný tvar a je složená z na sebe navazujících zakřivených úseků.
- Klínové metody řeší stabilitu určitého bloku nad zvolenou smykovou plochou, který je z boku zatížen aktivními a pasivními bloky zeminy. [3]

### 4.2 Řešení geometrického modelu

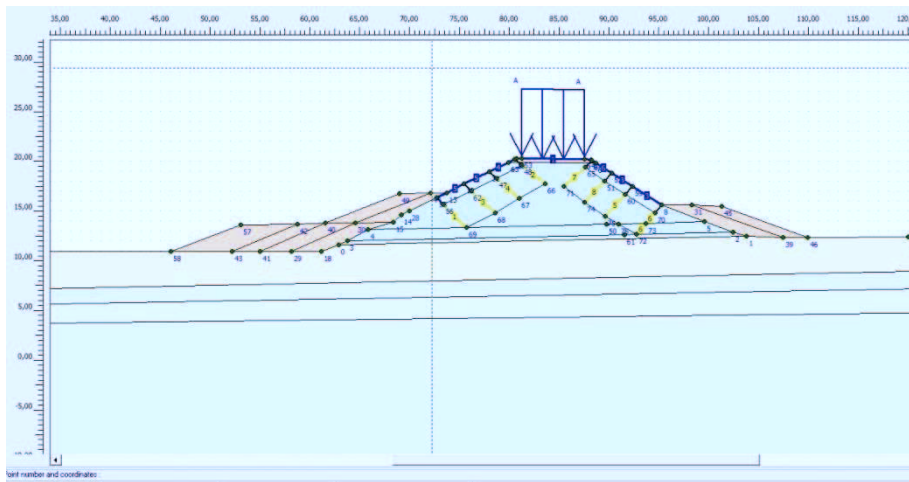
Vzhledem ke skutečnosti, že řez řešeného svahu je prakticky konstantní v celé jeho šířce, lze svah modelovat pomocí 2D rovinného modelu. Tvorba modelu pro zhodnocení současného a budoucího stavu byla proto provedena pomocí softwaru Plaxis 2D 8.2 a GEO 5. Pomocí těchto výstupů bylo dosaženo srovnání a komplexnější náhled na daný problém. Program Plaxis 2D vytváří výpočtové postupy pomocí numerické metody, která je založena na metodě konečných prvků. Vlastní výpočet je plně automatický a používá robustní matematické postupy. Kdežto program GEO 5 počítá stabilitu svahu na základě předem zvolených metod, které jsou podrobněji popsány jiřivě. Pro tuto práci byly zvoleny výpočty podle Pettersona a Bishopa.

Jak už bylo výř zmíněno, předmětem modelových výpočtů byly dvě varianty násypů. Varianty jsou od sebe odlišné pouze skladbou zemin v místě násypu. Obě jsou přiloženy v příloze č. 3. Další popis postupu vyhotovení modelů je pro obě varianty. Sanační opatření

bylo navrhováno na kritičtější z nich, a proto i v modelu je použita varianta 1. Protože program GEO 5 nemá výstupy s tak kritickými hodnotami, což je způsobeno absencí úvahy s veličinami zohledňujícími výskyt vody v tělese, popřípadě změny vlastností zemín v něm, nejsou uváděny jiné výstupy než model počáteční stability svahu. Výsledky z tohoto programu byly více příznivé a proto se s nimi ani dále neuvažuje.

#### 4.2.1 Vlastní postup modelace v programu Plaxis 2D 8.2.

Na počátku modelování byla zadána geometrie svahu pomocí bodů, jejich spojnic a klastrů. Spojnice bodů prezentují okraje geometrie modelu případně rozdělení geologických vrstev, nástroje sanačních opatření a prvky vozovky. Klastry jsou oblasti plně uzavřené čarami. Vlastnosti, které budou klastru přiděleny, budou aplikovány i na ostatní elementy v klastru. Pro ukázkou je zde jedno z řešení, kde je geometrie modelu vyobrazena (viz obr. 15).



(obr. 15) Modely, se zadanými v rámci nutnými prvky a parametry; Zdroj [autor, Plaxis 2D 8.2]

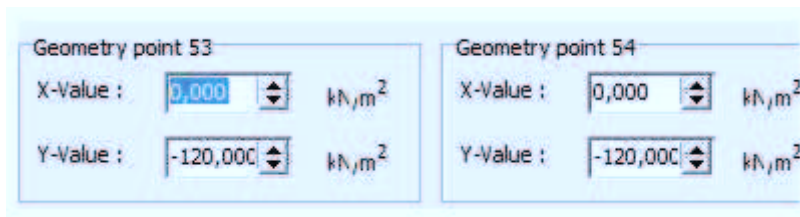
Součástí geometrie bylo:

- rozdělení jednotlivých geologických vrstev zjištěných dle vrtu nebo z laboratorních zkoušek
- konstrukce vozovky a zatížení na ni vypočtené dle přílohy č. 2
- předpokládané prvky sanačních opatření pro správnou generaci sítě

Bylo potřeba definovat okrajových podmínky modelu. V tomto softwaru je možná definice dvou typů okrajových podmínek. Buď je dán na hranici modelu posun, nebo je v tomto místě dáno zatížení. Pokud není ani jeden z těchto parametrů dán, model uvažuje, že v těchto místech je nulové zatížení a možnost volného pohybu v obou osách. Proto byla zvolena varianta určení okrajových podmínek pomocí nástroje *tuhá vana*. Ta udává v modelu nulové posuny na spodní horizontální hranici a na vertikálních hranicích je definována

podmínka  $u_x=0$  a  $u_y=free$ . Tento způsob zadání okrajových podmínek je dostačující pro problematiku většiny oblastí geotechniky. Další byly zadány okrajové podmínky, kde je zabráněno odtékání vody při konsolidaci. Ty byly určeny nástrojem *geogrid* ve stejném rozsahu jako *tuhá vana*.

Zadané zatížení bylo definováno křivkou geometrie na jednotku plochy v  $kN/m^2$  a zadávané hodnoty je možno vidět na (obr. 16). Jeho výpočet, jak u bylo zmíněno, se nachází v příloze č. 2.



(obr. 16) Zadání zatížení;  
Zdroj [autor, plaxis 2D 8.2.]

Nezbytnou součástí správné definice modelu je zadání vstupních parametrů pro zeminy, které určují skladbu řešeného násypu. A v neposlední řadě i parametry prvků sanačních opatření a popřípadě i materiály určující konstrukční prvky jak je uvedeno na (obr. 16). Zadání těchto vstupních hodnot bylo provedeno vytvořením vlastní knihovny materiálů a následně byly vlastnosti přiřazeny daným prvkům. Obsah použitých zemin je vypsán v tabulce (Tab 1.)

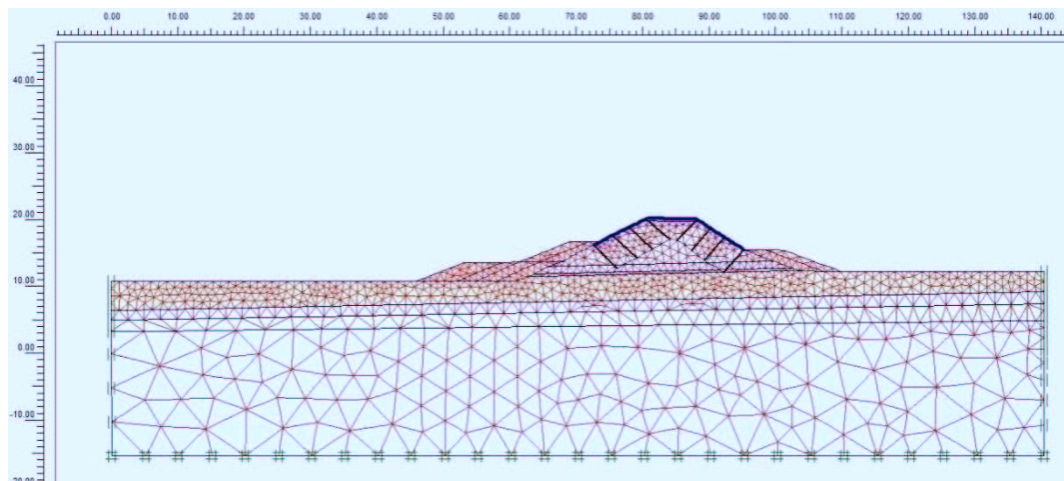
	Edef[MPa]	Cef[-]	$\phi_{ef} [^\circ]$	$\gamma_{sat}[kN/m^3]$	$\gamma_{unsat}[kN/m^3]$	$\nu[-]$	$k_x[m/den]$	$k_y[m/den]$
GP	175000	0	37	22	20	0,2	864	864
CI	6750	24	19	23	21	0,4	0,000000864	0,000000864
CS	7250	22	25	20,5	18,5	0,35	0,000000864	0,000000864
G-F	90000	0	34	21	19	0,25	86,4	86,4
CH	4000	15	15	22,5	20,5	0,42	0,000000864	0,000000864
GM	70000	4	33	21	19	0,3	86,4	86,4
CH	4000	15	15	22,5	20,5	0,42	0,000000864	0,000000864
CH	4000	15	15	22,5	20,5	0,42	0,000000864	0,000000864
SC	5623	4	26	21,83	19,83	0,4	0,864	0,864

(Tab. 1) Seznam vstupních parametrů zemin zadávaných do geometrie; Zdroj [autor]

Variantám sanačních opatření, které byly testovány na kritické variantě, jejich zadávání a specifickým vlastnostem prvků, se podrobněji věnuje kapitola 5.4 *Modelová analýza, návrh sanačních opatření*.

Pro různé typy sanačních opatření však model pokračoval bez rozdílů, protože tyto prvky se aktivují až ve výpočtovém modulu.

Bylo tedy potřeba vygenerovat síť skládající se z elementů, uzlů a zatížení. V nabídce softwaru, který pracuje s patnácti nebo šesti uzlovými elementárními rovinnými prvky ve tvaru trojúhelníků, byly vybrány šesti uzlové elementy rovinných prvků. Generaci sítě je možné vidět na příkladu (obr. 17).



(obr. 17)

Generace sítě, Zdroj [autor, Plaxis 2D 8.2]

V této fázi výpočet pokračoval udáním iniciačních podmínek, které se skládají z určení rozložení tlaků vody, což znamenalo nutnost zadat výšku hladiny podzemní vody. Při generování pole primárních napjatostí, byly automaticky deaktivovány všechny zatížení a strukturní objekty. Hladina podzemní vody byla zadána v iniciační fázi snížená, protože do fázování modelu bylo zahrnuto i budování samotného násypu.

Výpočet byl dále fázován do jednotlivých kroků. Postup do fáze stupně stability současného stavu, je možné vidět na (obr. 18).

<div> <div>Next</div> <div>Insert</div> <div>Delete...</div> </div>									
Identification	Phase no.	Start from	Calculation	Loading input	Time	Wa...	First	Last	
Initial phase	0	N/A	N/A	N/A	0,00 ...	0	0	0	
✓ budování ná...	1	0	Plastic	Staged construction	0,00 ...	1	1	104	
✓ konsolidace	2	1	Consolidation	Staged Construction	1825...	2	105	108	
✓ zvýšení hpv	3	2	Plastic	Staged construction	0,00 ...	3	109	111	
✓ ss1	4	3	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0,00 ...	3	112	151	
✓ vozovka	5	3	Plastic	Staged construction	0,00 ...	5	152	156	
✓ zatížení na v...	6	5	Plastic	Staged construction	0,00 ...	6	157	226	
✓ ss2	7	6	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0,00 ...	6	227	286	

(obr. 18) fázování modelu ve výpočtové fázi, Zdroj [autor, Plaxis 2D,8.2]

V první fázi byl aktivován samotný násyp. V kalkulačním modulu byl zvolen typ kalkulace *plastic*. Další fází byla konsolidace, která měla danou dobu trvání 1825 dnů (to



odpovídá pětileté konsolidaci). Po dokončení konsolidace byla zvýšena hladina podzemní vody do úrovně zjištěné dle geologického vrtu.

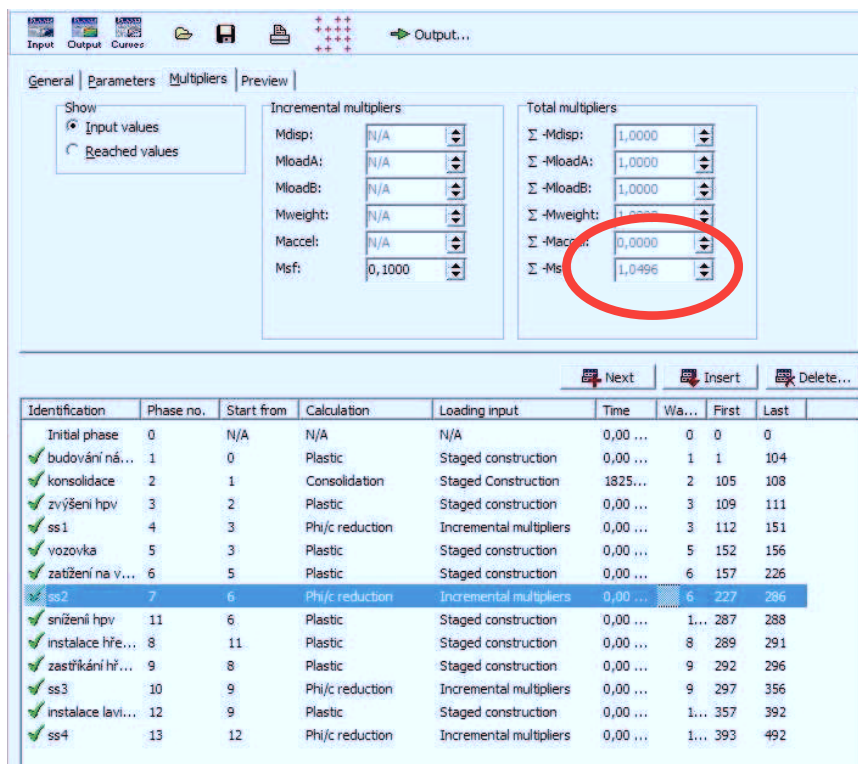
Čtvrtou fází byl výpočet stability svahu bez přetížení silnicí a zatížením na ní působícím. V tomto kroku bylo zvoleno nulování posunů a typ kalkulace byl vybrán jako *Phi/c reduction*. Dále byla zaktivována skladba silnice a zatížení dopravou a znovu zvolen typ kalkulace na *plastic*. Parametry zatížení byly zadány dle obrázku (obr. 16) a vlastnosti konstrukce vozovky byly zvoleny dle obrázku (obr. 19).

Plate properties	
<b>Material set</b>	
Identification:	vozovka
Material type:	Elastic
<b>Comments</b>	
<b>Properties</b>	
EA :	1,400E+06 kN/m
EI :	4666,700 kNm²/m
d :	0,200 m
w :	4,600 kN/m²
v :	0,200
M <sub>p</sub> :	1,000E+15 kNm/m
N <sub>p</sub> :	1,000E+15 kN/m
Rayleigh α :	0,000
Rayleigh β :	0,000

(obr. 19) Parametry vozovky;  
Zdroj [autor, Plaxis 2D 8.2]

Následně byl proveden výpočet stability svahu po přetížení, což znamenalo jako u předchozího výpočtu stability svahu změnit typ kalkulace na *Phi/c reduction* a nezapomenout vynulovat posuny.

Jednotlivé fáze mají vždy své výstupy, na které je možno se podívat pomocí odkazu *Output*. Rozhodující byl výpočet přetížení silnicí, která prokázala nestabilitu svahu z vypočteného stupně stability. Zastavil se na hodnotě  $F=1,049$ , jak je vyobrazeno na (obr. 20).



(obr. 20). Výpočet stupně stability po zatížení násypu komunikací a vypočítaným zatížením; Zdroj [autor, Plaxis 2D 8.2]

Stejným postupem i fázováním pouze se změnou parametrů zemin, byl vyhotoven i model se vstupními parametry dle uvedeného vrtného schématu viz Varianta 2 v příloze č.3. Dále s ním ale nebylo uvažováno pro jeho lepší výchozí vlastnosti a parametry. Vstupy a výstupy spojené s tímto modelem jsou uvedené v příloze č.5. Podstatnou informací z něj byla jen hodnota stupně stability, která činila 1,18. Ta byla vyšší než u varianty 1. Proto, aby byl návrh sanačních opatření na straně bezpečné, byl další výpočet prováděn na násypu s horšími vstupními parametry a tou se ukázala varianta 1.

#### 4.2.2 Vlastní postup modelace v programu GEO 5

Modelace v tomto programu je značně zjednodušenou situací skutečností, a proto i celý výpočet a zadání parametrů bylo zjednodušené a časově pro tento případ méně náročné.

Prvním krokem bylo zadání rozsahu modelu a poté následovalo zadání rozhraní. To se zadávalo podobným způsobem jako v programu Plaxis 2D 8.2, pomocí souřadnic. Následovalo zadání parametrů zemin dle tabulky (Tab. 1). Pomocí funkce přiřazení byly jednotlivé zeminy přiřazeny zadaným rozhraním. Dále byla definována i tuhá deska, jako konstrukce vozovky a zatížení na ni. To je dáno dle výpočtu uvedené v příloze č. 3. Poté scházelo ještě zadat hladinu podzemní vody v úrovni dle geologického vrtu a model byl připraven k výpočtu. V ovladači výpočtu byly voleny výpočty dle Peterson a Bishopa a oba dále porovnány. Pro výpočet bylo nutné ještě zadat typ smykové plochy jako kruhovou a ručně ji definovat. Výstupy z těchto

variant řešení nevycházely tak kriticky, jako při užití softwaru Plaxis 2D 8.2, a proto pro návrh sanačních opatření byl větší důraz kladen na právě hůře vycházející variantu podle již zmiňovaného Plaxisu 2D 8.2. Ale i přesto jsou k dispozici k nahlédnutí v příloze č.6.

## 5 Sanační opatření násypu, modelová analýza

Z obecného hlediska je návrh sanace sesuvu možný až po celkovém zhodnocení sesuvu. Což zahrnuje okolí lokality, geometrii svahu, skladbu svahu a okolní vlivy na něj. Pak je tedy potřeba přijmout opatření odpovídající danému stavu a to na příklad:

- a) snížení aktivních sil a naopak zvýšení pasivních sil v zemině
- b) snížení hladiny podzemní vody – drény, horizontální vrty atd.; celkové odvodnění a snížení možné infiltrace pomocí těsnících prvků
- c) úprava sklonu
- d) zřízení lavic
- e) zabránit vyplnění tahových trhlin vodou, protože zemina nepřenáší tahy, ze kterých vznikají tahové trhliny za korunou svahu.
- f) zvýšení pevnosti svahu
- g) snížením pórových tlaků v zemině
- h) zvláštní metody (odvodnění elektroosmózou, termické zpevnění, injektáže, chemické zpevňování, využití vegetace).

Pokud podle daných potřeb zvážíme tyto aspekty a zvolíme vhodný sanační postup, je možno použít několik konkrétních typů řešení např. :

- a) náhrada zeminy – šebra
- b) zatěžovací násep
- c) opěrné konstrukce
- d) stěny (gravitační, pilotové atd)
- e) gabiony
- f) kotvy, hřebíky
- g) vyztužené zemní konstrukce (geosyntetika)
- h) vegetace – snížení vlhkosti zemin (i do hloubky několika metrů)
- i) ochrana svahů před erozí; ± přímý vliv kořenů na pevnost (vyztužení zeminy). [17]

## 5.1 Sanace pomocí hřebíkování

Hřebíkování svahů představuje ekonomicky výhodný postup, kterým se vyztužují zeminy v jejich přirozeném uložení. Podstata metody spočívá ve vytvoření poměrně husté sítě krátkých tahových prvků v rostlé zemině, tvořených ocelovou výztuží (hřebíky) s cementovou zálivkou a zaústěných do krycí vrstvy ze stříkaného betonu vyztuženého síťovinou tloušťky cca 100–250 mm. Propojení hřebíku s krycí vrstvou je zajištěno jeho hlavou, tvořenou většinou ohybem táhla hřebíku. Vznikne tak těleso z vyztužené zeminy, které může vzdorovat působícímu zemnímu tlaku, případně i povrchovému zatížení. Hlavní rozdíl popsané konstrukce oproti pařící konstrukci se zemními kotvami spočívá v absenci svislých nosných prvků, v odlišném přenosu zatížení do zeminy (hřebíky přenášejí zatížení po celé svojí délce) a v celkově husté síti; hřebíky se nepředepínají. Průměr vrtů pro hřebíky se pohybuje v závislosti na geologických poměrech většinou mezi 50 a 150 mm. Důležitou součástí takto zajištěných svahů či stěn představuje způsob jejich odvodnění.

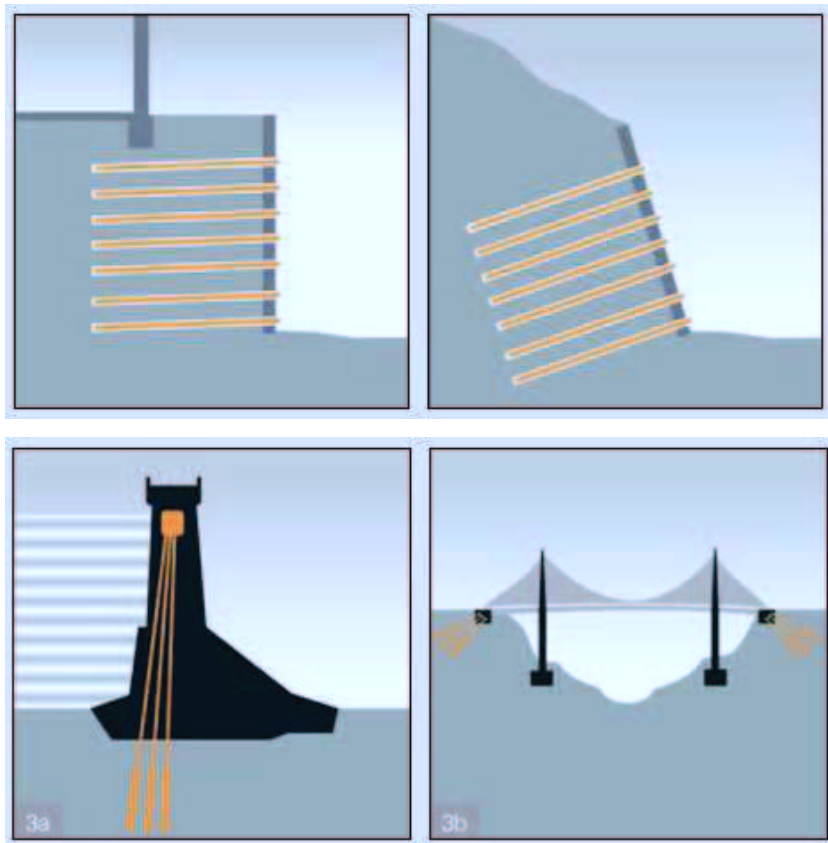
Široký rozsah použití má tato technologie především jako dočasná stabilizace svahů a paření stěn a výkopů při složitém půdorysu stavební jámy nebo při sanaci stávajících opěrných zdí. Další oblastí jejího využití je stabilizace svahů zářezů a násypů na liniových stavbách v členitém terénu. [ 27]

Základní pravidla pro hřebíkování, které zajišťuje jeho maximální stabilizační efektivitu lze charakterizovat v těchto bodech:

- hřebíky musí procházet přes potenciální smykové plochy do pasivní přetvárné zóny
- hřebíkování by mělo být realizováno bezprostředně po odtěžení horniny
- délky hřebíků musí dosahovat 0,5-0,7 výšky stěny (svahu) a neměla by být menší než 6 m
- hustota hřebíkování by měla dosahovat 0,5-2 hřebíky/m<sup>2</sup>. Přepočtené napětí vyvozené hřebíky by mělo dosahovat 50-250 kPa na povrchu hřebíkované oblasti
- únosnost hřebíků musí být min. 50-100 kN (ve speciálních případech až 300 kN)
- úklon hřebíků 0-30°
- maximální hodnota horizontální deformace hřebíkované konstrukce by neměla překračovat 1,5% výšky stěny. [ 24]

Pro řešení je možno použít dvě varianty. Jednou je silová metoda založená na metodě mezní rovnováhy a druhým je stabilitní řešení s využitím metody konečných prvků.

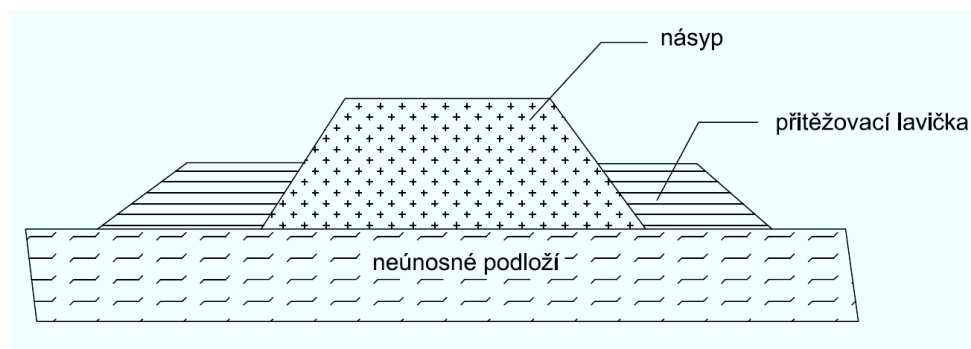
Hřebíkové svahy mohou být ukloněné nebo svislé. Vlastní ocelová výztuž (hřebíky) může být osazována vodorovně nebo pod mírným úhlem, jak je zobrazeno na obrázku (obr. 21). Metoda hřebíkování se nepoužívá jen pro sanování svahů, ale i při stabilizaci mostních a hydrotechnických konstrukcích, což je znázorněno na obrázku (obr. 21 -3a,3b) [ 24]



(obr. 21) Příklad aplikace technologie hřebíkování ; Zdroj[27]

## 5.2 Přetížení v patě svahu pomocí laviček

Budování násypů dopravních staveb na neúnosném podloží, může způsobit vážné poruchy v tělese násypu a jeho podloží, když se tento problém podcení. Vyčerpáním smykové pevnosti měkkých podložních vrstev dochází podél kluzných ploch k vytlačování zemin do stran. Důsledkem je zaboření násypu do podloží. Nejjednodušší úpravou je zhotovení přetěžovací lavičky při patě násypu, jak je zřejmé z obrázku (obr. 22).[1]



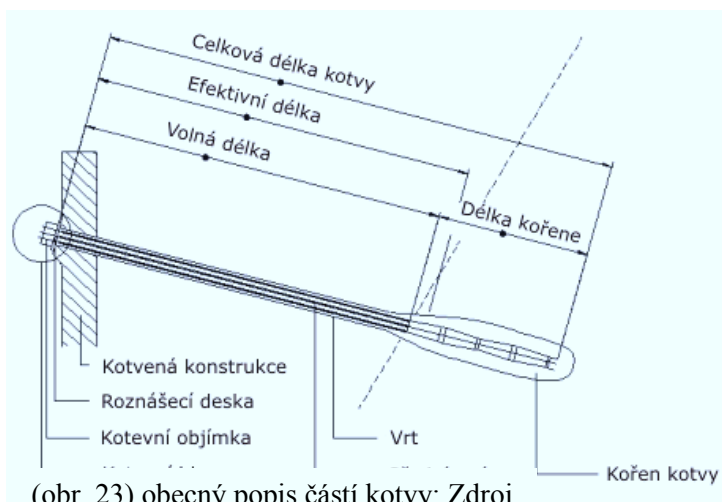
(obr. 22) Násyp na neúnosném podloží; Zdroj [autor, AutoCAD2010]

Účelem je zvýšení svislých a vodorovných napětí do té míry, aby Mohrova kružnice opsaná nad rozdílem hlavních napětí klesla pod čáru smykové pevnosti málo únosné zeminy. Přítěžovací násyp také zajistí plynulejší deformaci zemin pod a vedle nově zhotoveného násypu. [1]

### 5.3 Sanace zemními kotvami

Kotevní hlava: prvek přenáející vnesené předpětí do kotvené konstrukce.

Kořen kotvy: část kotvy zajišťující bezpečný přenos vneseného předpětí do okolní horniny, tak aby nedošlo k vytržení kotvy.



(obr. 23) obecný popis částí kotvy; Zdroj [16]

Volná délka: úsek mezi kotevní hlavou a kořenem kotvy; předpínací lana v této části musí dovolit volný pokluz tak, aby mohlo dojít k požadovanému předepnutí.

Efektivní délka: délka předpínacích lan, která se skutečně protáhne; nutno ověřit na základě výpočtu při vypracovávání napínacího protokolu. [16]

Kotvení se provádí vřadě tam, kde je účelné využít spolupůsobení horniny a vyvolaných napětí od zatížení stavebními nebo geotechnickými konstrukcemi. Je to efektivně řešena technická i ekonomická stránka speciálního zakládání. Působení kotevních sil je projektováno na očekávané zatížení od konstrukcí a podle výsledků geofyzikálního průzkumu

provedené v potřebném rozsahu. Využívá se při zakládání staveb ve stavebních jámách, při stabilizaci svahů a opěrných zdí, při ražbě podzemních děl a podobně. [16]

### 5.3.1 Rozdělení kotev z hlediska antikorozi ochrany



### 5.3.2 Dočasné zemní kotvy

Dočasné zemní kotvy jsou navrženy na omezenou dobu životnosti, obvykle < 2 roky. Opatřeny jsou pouze částečnou antikorozi ochranou, kategorie K2 nebo K3. Mohou být dodávány ve dvojím provedení:

- Standardní: zatížení kotvy nelze dodatečně měnit.
- Odstranitelné: volná délka kotvy může být po uplynutí životnosti dočasné kotvy odstraněna.

### 5.3.3 Trvalé zemní kotvy

Kotvy jsou navrženy na funkčnost po celou dobu životnosti konstrukce, opatřené komplexní antikorozi ochranou (kategorie K1). Jsou dodávány s několika typy kotevních objímek, které ovlivňují možnost změny zatížení kotvy v průběhu její životnosti.

- Standardní - zatížení kotvy nelze dodatečně měnit.
- Umožňující opakované napnutí - zatížení kotvy možno zvětšit, ale ne zmenšit.
- Nastavitelná- zatížení kotvy možno zmenšit i zvětšit v určitém rozsahu.

- Nastavitelná s možností uvolnění předpětí- zatížení kotvy může zmenšit i zvětšit v určitém rozsahu s možností úplného uvolnění předpětí.
- Kontrolovatelná - zatížení kotvy může být měřeno v průběhu životnosti konstrukce pomocí dynamometru.

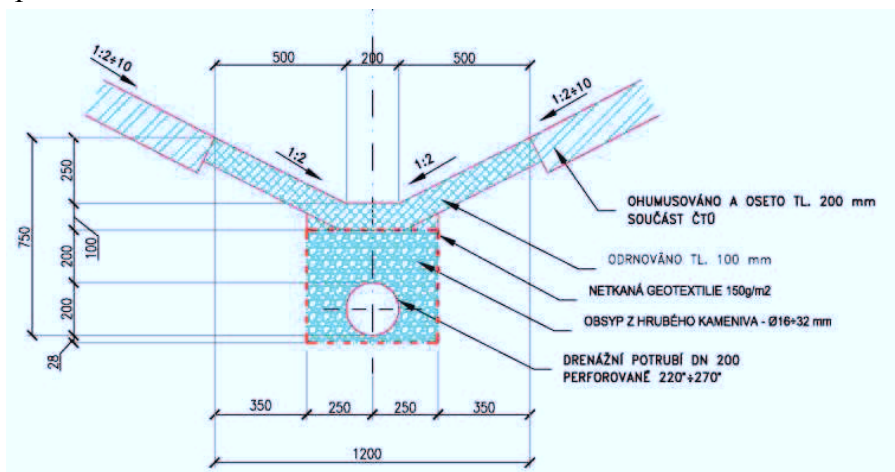
### 5.3.4 Elektricky izolované kotvy

Jedná se o kotvy plně zapouzďené. Neporušenost zapouzďení může být kontrolována kdykoliv během životnosti zemní kotvy. První projekt s použitím těchto kotev byl realizován v roce 1986 na stanici Stadelhofen v Curychu a od té doby se elektricky izolované kotvy staly ve švýcarsku standardem pro aplikaci trvalých zemních kotev. [16]

## 5.4 Modelová analýza, návrh sanačního opatření

Po vyhodnocení geometrických modelů pomocí softwarů GEO 5 a PLAXIS, byla vybrána nejkritičtější varianta stability, což byla variant 1 dle přílohy č. 3, u níž činil stupeň stability  $F=1,049$ . Na ni bylo navrženo sanační opatření dle potřeby dané lokality a také opatřeno výpočtem pomocí geometrického modelu. Podrobněji o variantách sanačních opatření dále.

Hlavním problémem po vyhodnocení se ukázal nedostatečný objem odtokových žlabů v patách svahu. Skladba zemin svahu není schopna bez úhony odvést přitékající srážkovou povrchovou vodu a vsakuje do svahu. Proto bylo navrženo jako součást všech sanačních opatření výměna stávajících žlabů, které jsou nedostačující za hloubí a objemnější, jak je znázorněno na obrázku (obr. 24). Součástí je drenážní systém, který by měl být napojen na stávající drenáž. Ta se však musí zrevidovat je-li plně funkční a odvádí vtékající vodu, tak jak bylo navrženo do kanalizace pod uzavřenou komunikací vzdálenou od řešeného násypu přibližně sedmdesát metrů.



(obr. 24) Odvodňovací drenáž v patě svahu;  
Zdroj [autor]



### 5.4.1 Metoda hřebíkování

První uvažovanou variantou sanací bylo použití hřebíkové metody. Výpočet a fázování modelu plynule navázalo na fázi stupně stability, vypočtenou pro výchozí stav násypu po zatížení komunikací a jejím zatížením viz (obr. 18). Jednotlivým fázím byl měněn typ kalkulace, jež je možno vidět na příloženém obrázku (obr. 25) ve čtvrtém sloupci.

✓ stупen stabil...	6	5	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0,00 ...	5	152	251
✓ snížení hpv	7	6	Plastic	Staged construction	0,00 ...	7	252	254
✓ osazení hřebíků	8	7	Plastic	Staged construction	0,00 ...	8	255	262
✓ zastříkání hř...	9	8	Plastic	Staged construction	0,00 ...	9	263	268
✓ stупen stabil...	10	9	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0,00 ...	9	269	368
✓ lavicky	11	9	Plastic	Staged construction	0,00 ...	1...	369	375
✓ stупen stabil...	12	11	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0,00 ...	1...	376	475
✓ lavky	13	11	Plastic	Staged construction	0,00 ...	1...	476	482
✓ stупen stabil...	14	13	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0,00 ...	1...	483	582
✓ lavicky 1	15	13	Plastic	Staged construction	0,00 ...	1...	583	591
✓ konečný stu...	16	15	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0,00 ...	1...	592	686

(obr. 25) Fázování výpočtu metody hřebíkování; Zdroj [autor, Plaxis 2D 8,2]

V kroku nazvaném snížení hladiny podzemní vody bylo realizováno sanační opatření již výše zmíněné, drenáž v patě svahu. Bylo nutné znovu načíst pórové tlaky a posléze bylo možné krok dopočít.

V další fázi, osazení hřebíků, bylo nutné nejen aktivovat výztuž s přidělenými parametry, ale také vylepšit parametry okolního prostředí pro správnou modelaci situace a následně i výsledek. Jediný parametr, který se měnil z původně přidělené zeminy, byla soudržnost  $c$  podle výpočtu uvedeného níže.

Výpočet vychází z návrhu, že hřebíky jsou zhotoveny z kotevní tyče TITAN 30/16 viz (obr. 26) a z podkladů alternativních možností matematického modelování.

#### Technická data:

Typ kotevní tyče		30/16
průměr tyče (vnější)	mm	30
průměr tyče (vnitřní)	mm	16
smluvní únosnost tyče na mezi kluzu $Y_{0,2}$	kN	190
únosnost tyče na mezi pevnosti	kN	245
efektivní průřezová plocha tyče $A_{eff}$	mm <sup>2</sup>	340
hmotnost tyče	kg/m	2,7
směr rotace	-	levý
rozměry matice (SW x v)	mm	46 x 35
rozměry spojníku ( $\sigma$ x l)	mm	38 x 105
standardní dodávané délky	m	3

(obr. 26) Výpis parametrů použité výztuže; Zdroj [20]

- celková hodnota soudržnosti hřebíkovaného prostředí

$$c_{\text{celk}} = c + c_{\text{nail}}$$

Vzorec 9, Výpočet hodnoty soudržnosti pro hřebílkovanou zeminu;

Zdroj: [24]

$c_{\text{celk}}$  . celková soudržnost hřebíkovaného prostředí

$c$  .. soudržnost zeminy, které se budou vylepšovat vlastnosti

$c_{\text{nail}}$  . změna soudržnosti připočítávána k původní soudržnosti

$$c_{\text{nail}} = \frac{1 + \sin \varphi}{2 \cdot \cos \varphi} \cdot \frac{F}{a \cdot b}$$

Vzorec 10, Výpočet připočítávané soudržnosti; Zdroj: [24]

$\varphi$  . úhel vnitřního tření zlepšování zeminy

$a$  . rozteč výztuže 2m

$b$  . rozteč výztuže v druhém směru 2m

$g_{sk}$  . pro písčité zeminy je brána hodnota 100kPa

$$F = 2\pi \cdot r_{\text{vrtnu}} \cdot l_{\text{Hřebíku}} \cdot g_{sk}$$

Vzorec 11, Výpočet síly působící v hřebíku; Zdroj: [24]

$$F = 2\pi \cdot \frac{0,075}{2} \cdot 3 \cdot 100$$

$$F = 70,68$$

$$c_{\text{nail}} = \frac{1 + \sin \varphi}{2 \cdot \cos \varphi} \cdot \frac{F}{a \cdot b}$$

$$c_{\text{nail}} = \frac{1 + \sin 27}{2 \cdot \cos 27} \cdot \frac{70,68}{2 \cdot 2}$$

$$c_{nail} = 14,42$$

$$c_{celk} = c + c_{nail}$$

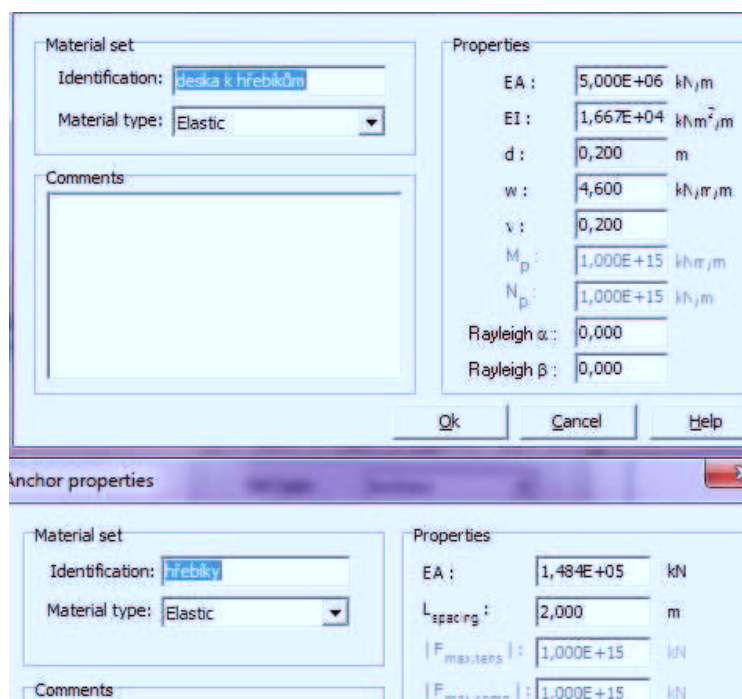
$$c_{celk} = 8 + 14,42$$

$$c_{celk} = 22,41$$

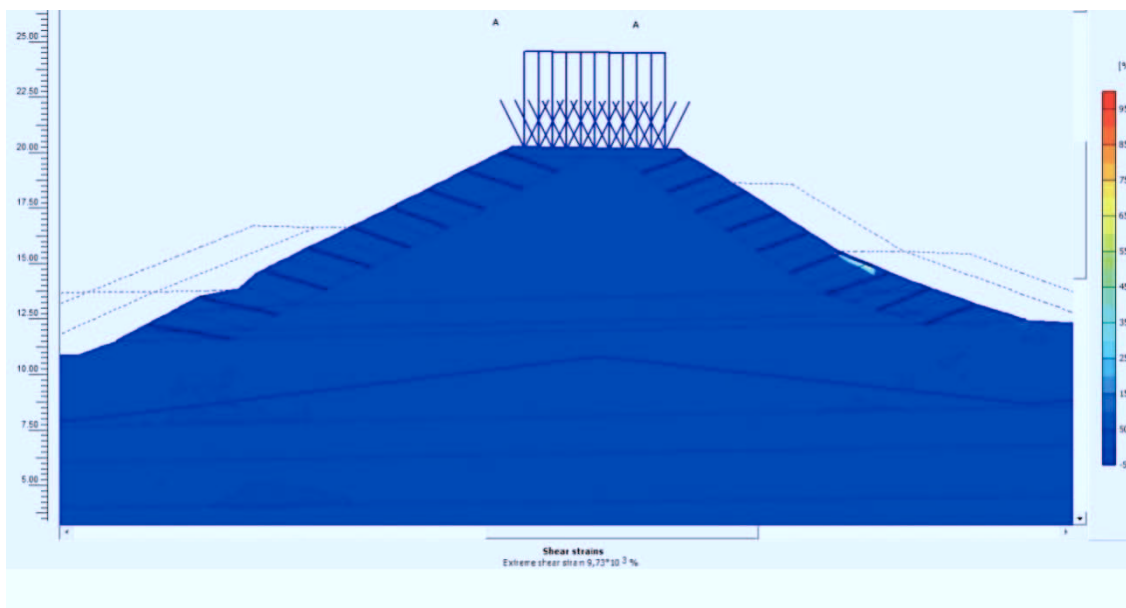
Byla tedy vytvořena nová zeminy, kopie zeminy původní vrstvě přidělené, a byla změněna hodnota soudržnosti  $c$  na hodnotu výše vypočtenou  $c_{celk} = 22,41$ .

Dále následovala fáze, která znázorňuje zastříkání svahu a osazení kari sítě betonovou směsí pro stabilizaci hřebíků. Parametry tohoto zástříku i parametry hřebíkové výztuže jsou dány na obrázku (obr. 27).

Tato metoda byla zkoušena v několika variantách nejen pro přemísťování se smykové plochy na základě sanačních opatření. Nejlépe vycházející variantou z hlediska stupně stability se ukázala sanace touto metodou po celé délce na obou stranách svahu. Po oboustranné instalaci hřebíků byl zřejmý přesun smykové plochy, která je znázorněna na obrázku (obr. 28).



(obr. 27) Zadávané parametry pro použité prvky do výpočtu; Zdroj[autor, Plaxis 2D 8,2]



(obr.28) Průběh smykové plochy po instalaci hřebíků; Zdroj [autor, Plaxis 2D]

Byla zvažena i varianta vytvoření hustější sítě hřebíků. Ta by stabilitní problém nevyřešila, což bylo prokázáno programem Plaxis 2D 8.2. Ani větší délky hřebíků nevedly k lepší celkové stabilitě.

Do kalkulačního modulu byla zahrnuta tedy fáze stupně stability po metodě hřebíkování, která prokázala nedostatečnou stabilitu  $F=1,3$ . Průběh smykových ploch je vyobrazen na (obr. 28). Je zřejmé, že její rozsah se eliminoval, avšak nebyly odstraněny kritické hodnoty. Ty se vyskytují na pravé straně modelu při styku lavičky a svahu a snižují

Tato metoda se jako samostatně požitelná výpočtem nepotvrdila, ale pro kombinaci s jiným typem dále uvedeného opatření byla uvažována.

Další zkoušenou variantou byla instalace laviček, kterým byly zhotoveny ze špatně změřených dřevů GP. Jejich parametry byly zadávány podle tabulky již výše uvedené (Tab. 1). Rozměry lavičky, což je šířka a výška, byly dány shodně po třech metrech. Délka lavičky byla zvolena dle délky sesuvy s přesahem na každou stranu pěti metrů. Z toho plyne celková délka lavičky třicet metrů. I zde bylo vyzkoušeno několik typů řešení, ty plynuly hlavně z variabilního osazování laviček. Tím je myšleno nejen umístění na stranách násypu, ale i výškově. Jako v předchozí variantě hřebíkování, se i zde smykové plochy přesouvaly ze strany na stranu. A nebylo dosaženo potřebného stabilitního stupně.

39

Sesouvaná strana násypu – čtyři lavičky a na nich ještě dvě (dvanáct metrů ve spodní části a šest metrů na nich)

Strana bez zřejmého sesuvu – dvě lavičky (šest metrů)

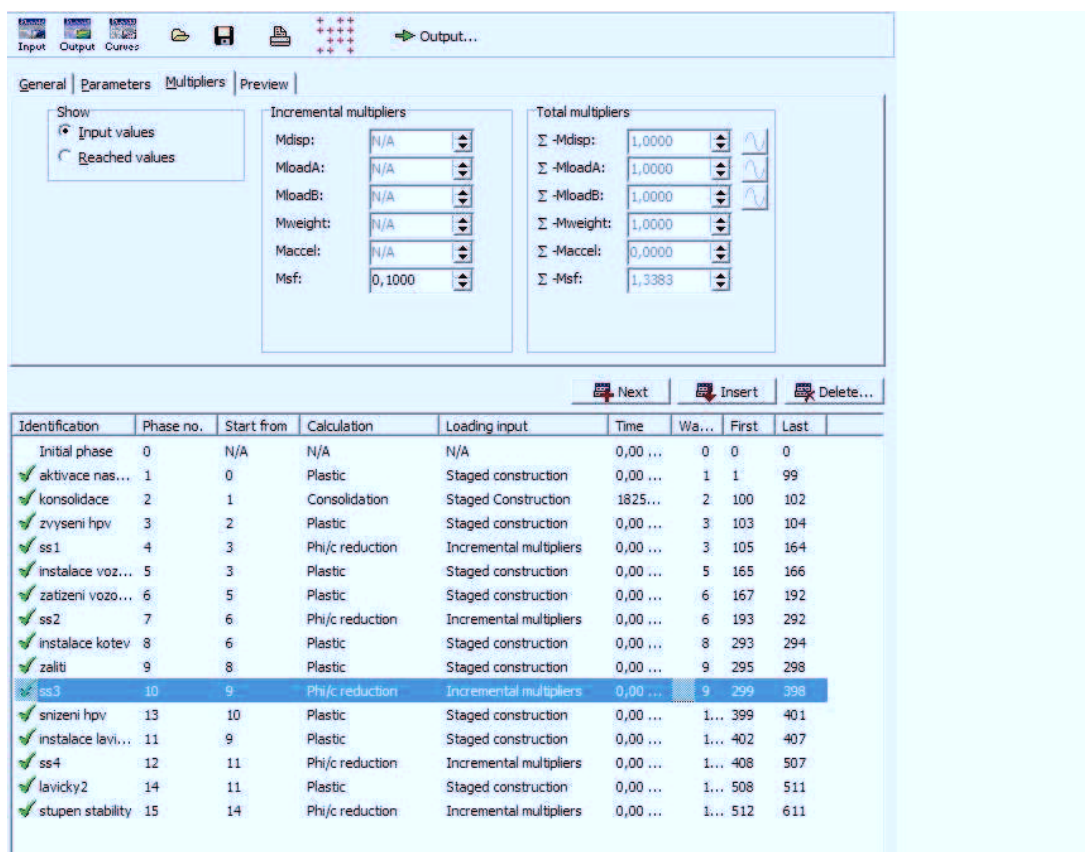
Po odzkoušení několika variant a zjištění, že pro vyhovující stupeň stability by byl návrh a) příliš neekonomický a těžko proveditelný, bylo dospěno k závěru, že nejlepším řešením bude kombinace této metody s metodou hřebíkování a nebo kotev.

### 5.4.3 Sanace pomocí kotvení

I tato metoda plynule navazuje na fázování výpočtového modelu výchozí situace. Bylo uvažováno s tyčovými kotvami s průměrem 25 mm a průměrem kořene 85mm. Vnesené předpětí ve fázi instalace kotev bylo stanoveno na 20kN, což odpovídá přibližně 10% předpokládané tahové únosnosti běžně používaných kotev. Uvažované rozteče byly obě po dvou metrech, délka je navržena na čtyři metry.

Ke geometrii a zadání jednotlivých prvků opatření je potřeba říci, že kotvy byly modelovány ze dvou nástrojů programu Plaxis 2D 8,2. Jedním byl nástroj kotva. Ta měla však třetinovou délku celé kotvy. Profil pro tuto část kotvy byl uvažován  $\varnothing 32$  mm a modul pružnosti jako pro běžnou ocel 210 GPa. Další dvě třetiny byly modelovány pomocí nástroje geomříže a přidělené parametry plochy vycházející z  $\varnothing 100$  mm a modulu pružnosti 27 GPa.

Fázování v modelu tedy navázalo instalací kotev. V této fázi byly zadány obě části i předpětí. Po kalkulaci následovalo zastříkání betonem v prostoru kotev. Byl spočten stupeň stability, který prokázal nedostatečnou stabilitu po osazení těchto prvků.  $F = 1,338$  jak je podloženo výstupem na obrázku (obr. 30).

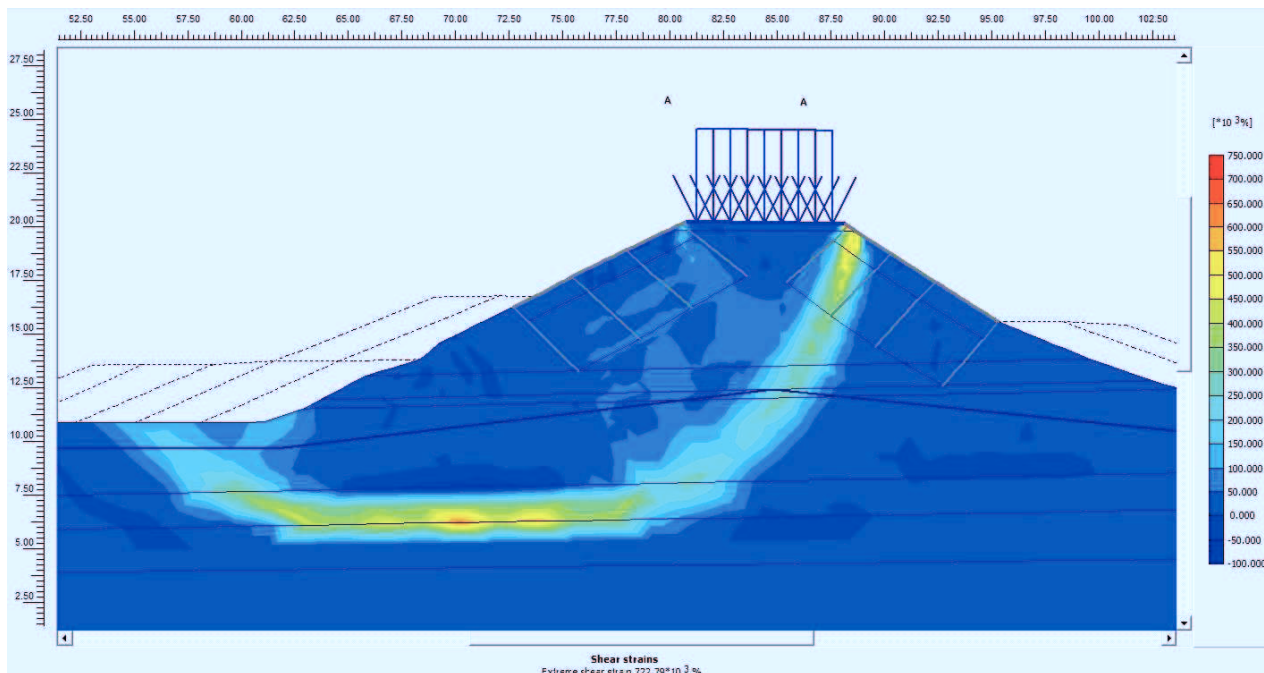


(obr. 30) výpočet stupně stability po instalaci kotev; Zdroj [autor, Plaxis 2D 8,2]

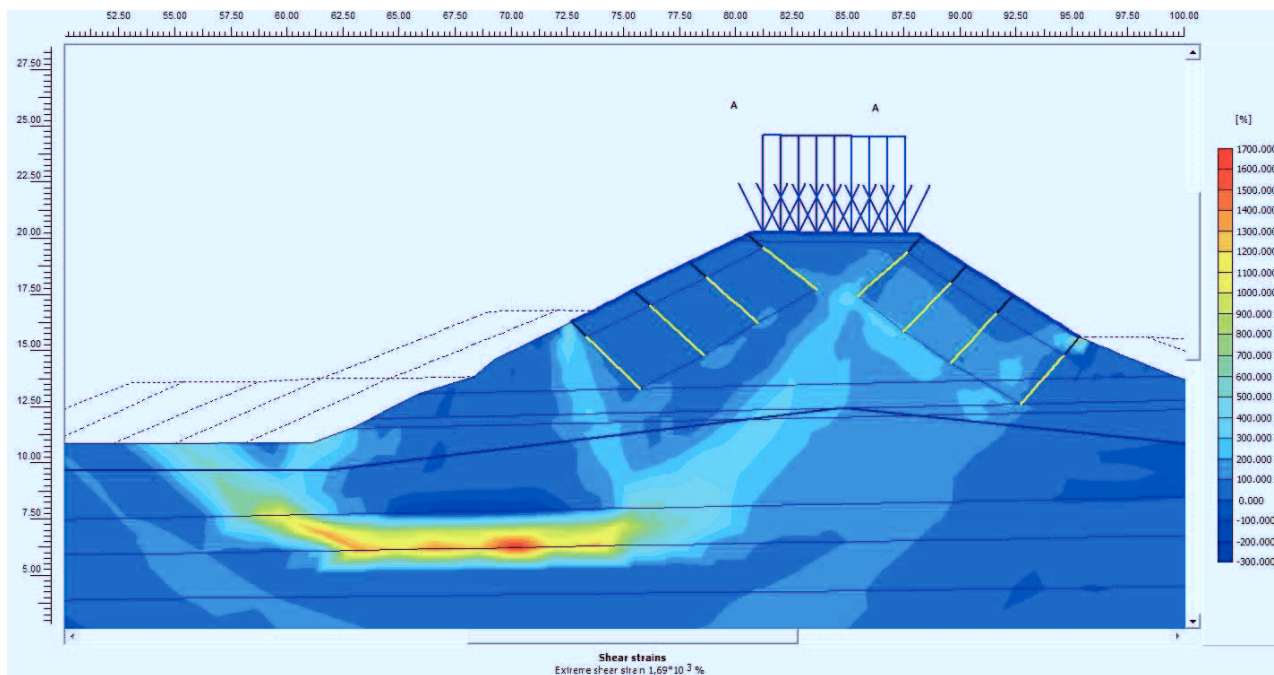
Jak vypadá smyková plocha po tomto kroku je zřejmé z obrázku (obr. 31). Je viditelná celková změna průběhu, kdy kritické hodnoty se přesunuly do podloží násypu, avšak nelze je eliminovat zcela. K porovnání má obrázek (obr. 31) dvě části. V části a) je výchozí stav smykové plochy a v části b) je její průběh po osazení kotev.

Ani tato varianta samostatně řešením není a proto s ní bude dále uvažováno pro kombinaci s jiným z navržených sanačních opatření.





(obr. 31) a) průběh smykové plochy před instalací kotev; Zdroj [autor, Plaxis2D 8,2]



(obr. 31) b) průběh smykové plochy po instalaci kotev; Zdroj [autor, Plaxis2D 8,2]

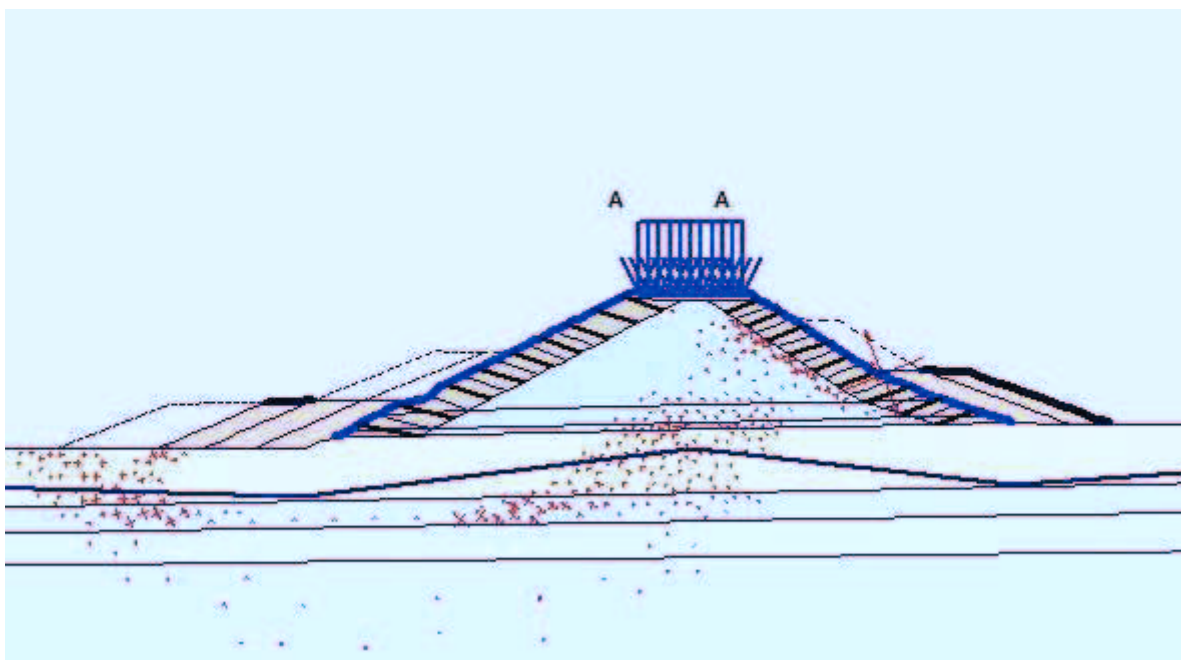


#### 5.4.4 Kombinace metod hřebíkování a přitěŕovacích laviček

Po výstupech dle předcházejících metod byly prováděny kombinace těchto opatření. Dle průběhu smykových ploch byly přidány opatření tak, aby stabilitní stupeň byl již vyhovující;  $F=1,5$

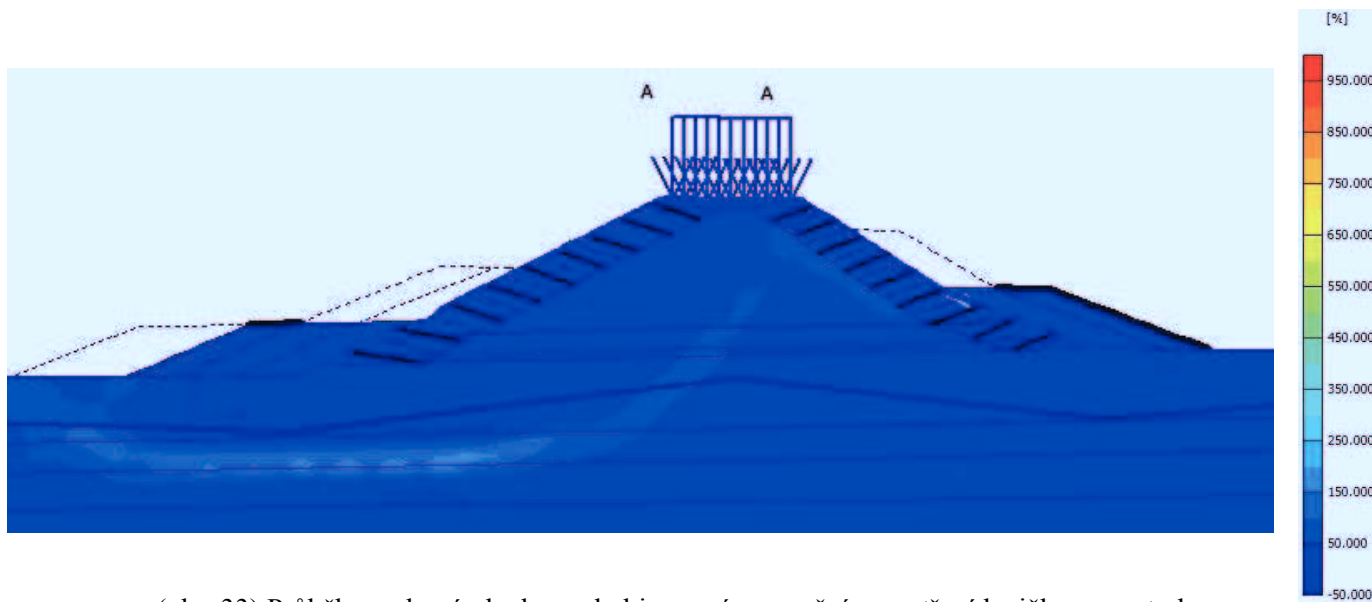
Fázování konečné varianty bylo navázáno na stupeň stability po vypočtené metodě hřebíkováním, které bylo prokázáno jako nedostačující.

Bylo prováděno mnoho nejruznějších kombinací aktivace laviček, všechny se stejným postupem. Což znamená, typ kalkulace byl volen *plastic* a v záložce *parametrs* byla definovány uvažované lavičky. Pro hloubku a celkový rozsah smykové plochy byla vyhovující a varianta s lavičkami délky devět metrů na straně sesuvu a šest metrů na straně druhé. Jsou navrženy jako jednoúrovňové. Rozsah laviček je možné vidět na výstupu (obr. 32) vypovídajícím hlavně o celkových deformacích ve svahu po kompletní instalaci sanačního opatření této kombinace se stupněm stability  $F= 1,51$ . Tato hodnota je již přípustná, a proto je zde prezentováno jako jedno z vyhovujících řešení.



(obr. 32) Celkové deformace v násypu po instalaci metody hřebíkováním a laviček;  
Zdroj [autor, Plaxis 2D, 8.2]

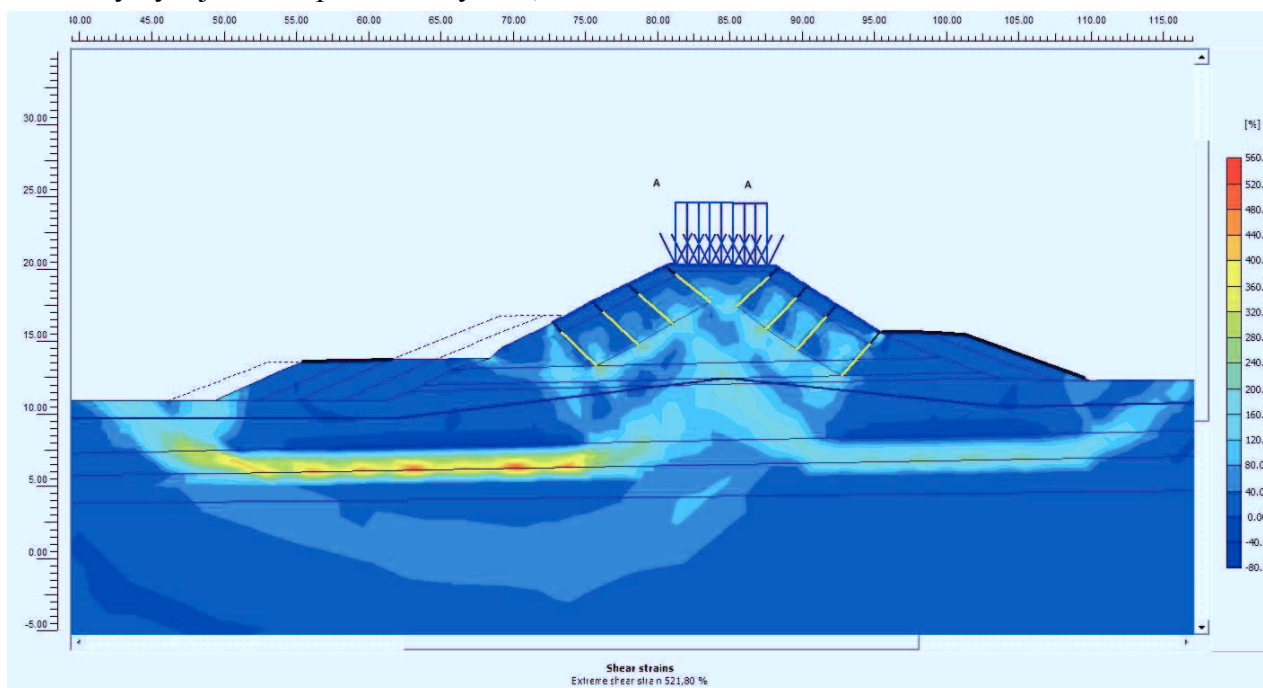
Eliminace smykové plochy je zřetelná i z následujícího obrázku. Nebylo nutné aktivovat všechny při vstupech předpokládané lavičky. Neuvažované lavičky jsou znázorněny čárkovaně na stejném obrázku (obr. 33). Je zde vidět i průběh snížené hladiny podzemní vody, která jak již bylo zmíněno, je zajištěna novým drenážním systémem v patě násypu.



(obr. 33) Průběh smykové plochy po kobinovaném sanačním opatření lavičkou a metodou hřebíkování; Zdroj [autor, Plaxis 2D, 8.2]

#### 5.4.5 Kombinace přitělovacích laviček a tyčových kotev

I tento sanační návrh byl založen na principu složení dvou výše zmiňovaných metod. Navázalo se na fázování metody kotev a připojilo se k ní fázování laviček obě ji výše zmíněné. Vyhovující stupeň stability byl zjištěn při variantě vyobrazené na obrázku (obr. 34), kdy byl zjištěn stupeň stability  $F=1,51$ .



(obr. 34) Průběh smykové plochy po kobinovaném sanačních opatření laviček a kotev;  
Zdroj [autor, Plaxis 2D, 8.2]

Parametry použitých nástrojů pro sanaci byly ponechány jako při variantách, kdy tato problematika byla řešena každou z metod zvlášť. Jak je možno vidět, pro vyhovující stupeň stability byly použity na každé straně svahu čtyři kotvy a dále byl svah přitělen lavičkami o

délce dvanácti a česti metrů. Z obrázku (obr. 34) je zřejmý posun kritických hodnot do podloží a tím bylo dosaženo i potřebného stupně stability.

## 6 Ekonomická bilance

Pro komplexnost a zhodnocení návrhů i z finanční stránky byl vyhotoven rozpočet programem CROSS podle listů URS 2010 za spolupráce pana Ing. Pavla Franka z firmy OKDC, a.s.viz. tabulka (Tab.2).

P.č.	Číslo položky	Název položky	MJ	množství	cena / MJ	celkem (Kč)
1	222112312	Rychlostní diamantové vrtání úklon do 45° hl do 100 m hor. I a II	m	96,00	532,00	51072
2	285371111	Kotvy tyčové do 6 m	ks	24,00	2800,00	67200
3	332318111	Výplň vnitřních dutin ocelových sloupů betonem tř. C 12/15	m3	45,00	3190,00	143550
4	583441550	Čtěkodrt' frakce 0-22	m3	1620,00	272,00	440640
5	171201101	Uložení sypaniny do násypů nezhutněných	m3	1620,00	22,50	36450
6	132201102	Hloubení rýh šířky do 600 mm v hornině tř. 1 a 2	m3	6,00	302,00	1812
7	161101101	Svislé přemístění výkopku z horniny tř. 1 a 4 hl výkopu do 2,5 m	m3	6,00	77,90	467,4
8	167101101	Nakládání výkopku z hornin tř. 1 a 4 do 100 m3	m3	6,00	175,00	1050
9	162701105	Vodorovné přemístění do 10000 m výkopku z horniny tř. 1 a 4	m3	6,00	285,00	1710
10	171201201	Uložení sypaniny na skládky	m3	6,00	17,20	103,2
11	171201211	Poplatek za uložení odpadu ze sypaniny na skládce (skládkovné)	t	10,80	200,00	2160
12	211971110	Zřízení opláštění leber nebo tratí vodů geotextilií v rýze nebo zářezu sklonu do 1 : 2,5	m2	54,00	20,10	1085,4
13	286106060	trubka drenážní flexibilní OSMA D 200 mm	m	30,00	134,00	4020
14	871238111	Kladení drenážního potrubí z tvrdého PVC průměru do 200 mm		30,00	7,67	230,1
15	583439200	kamenivo drcené hrubé frakce 16-22	t	12,00	412,00	4944
16	214500211	Zřízení výplně rýh s drenážním potrubím do DN 200 kamenivem	m	30,00	84,00	2520
17	618311545	Vytvarování dna z betonu mrazuvzdorného C 25/30 XF3 s potěrem dlažby a kanálů r zakřivení nad 600 mm	m3	4,80	7830,00	37584
<b>celkem</b>						<b>796598,10</b>

(Tab. 2) a)- Ekonomická bilance sanační metody za použití zemních kotev a přitělovacích laviček

P.č.	Číslo položky	Název položky	MJ	množství	cena / MJ	celkem (Kč)
1	222112312	Rychlostní diamantové vrtání úklon do 45° hl do 100 m hor. I a II	m	810,00	532,00	430920,00
2	634822030	prut pro hřebíkování pozinkovaný, délka 3 m	ks	270,00	160,00	43200,00
4	631362021	Výztužmazanin svařovanými sítěmi Kari	t	5,40	23800,00	128520,00
5	216341011	Beton stříkaný tř. C 12/15 tl do 50 mm na plochu stěn	m2	92,00	493,00	45356,00
6	583441550	Čtěkodrt' frakce 0-22	m3	1350,00	272,00	367200,00
7	171201101	Uložení sypaniny do násypů nezhutněných	m3	1350,00	22,50	30375,00
8	132201102	Hloubení rýh šířky do 600 mm v hornině tř. 1 a 2	m3	6,00	302,00	1812,00
9	161101101	Svislé přemístění výkopku z horniny tř. 1 a 4 hl výkopu do 2,5 m	m3	6,00	77,90	467,40
10	167101101	Nakládání výkopku z hornin tř. 1 a 4 do 100 m3	m3	6,00	175,00	1050,00
11	162701105	Vodorovné přemístění do 10000 m výkopku z horniny tř. 1 a 4	m3	6,00	285,00	1710,00
12	171201201	Uložení sypaniny na skládky	m3	6,00	17,20	103,20
13	171201211	Poplatek za uložení odpadu ze sypaniny na skládce (skládkovné)	t	10,80	200,00	2160,00
14	211971110	Zřízení opláštění leber nebo tratí vodů geotextilií v rýze nebo zářezu sklonu do 1 : 2,5	m2	54,00	20,10	1085,40
15	286106060	trubka drenážní flexibilní OSMA D 200 mm	m	30,00	134,00	4020,00
16	871238111	Kladení drenážního potrubí z tvrdého PVC průměru do 200 mm		30,00	7,67	230,10
17	583439200	kamenivo drcené hrubé frakce 16-22	t	12,00	412,00	4944,00
18	214500211	Zřízení výplně rýh s drenážním potrubím do DN 200 kamenivem	m	30,00	84,00	2520,00
19	618311545	Vytvarování dna z betonu mrazuvzdorného C 25/30 XF3 s potěrem dlažby a kanálů r zakřivení nad 600 mm	m3	4,80	7830,00	37584,00
<b>celkem</b>						<b>1103257,10</b>

(Tab. 2) b)- Ekonomická bilance sanační metody za použití metody hřebíkování a přitělovacích laviček

## 7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo zhodnocení stavu sesuvu na násypu pod silnicí I/47 u křížení se silnicí I/57 u Fulneku a návrh řešení pro zlepšení současného stavu.

Z dostupné dokumentace bylo zjištěno, že svah byl řešen jako násyp při budování přeložky nad silnicí I/57. Geologická struktura byla známá z vrtu v projektové dokumentaci. Pro přesnější analýzu byly odebrány i vzorky zeminy a dále vyhodnoceny. Sesuv byl analyzován jako rotační planární.

Po prvotním zhlédnutí lokality byl zřejmý nedostatečný odvodňovací systém. Stávající odvodňovací žláby jsou jen na jedné straně násypu, opačné neje místo sesuvu. Proto je třeba zrevidovat funkci drenáží v okolí násypu, na kterou mají být odvodňovací žlab napojeny. A v neposlední řadě by měl být proveden obetonovaný žlab větších rozměrů, než je ten stávající dle příloženého nákresu s drenáží v patě svahu po délce násypu.

Pro komplexnější vyhodnocení stávající situace a návrh sanačních opatření byly vytvořeny výpočtové modely programem Plaxis 2D 8.2. Ze všech použitých úvah v této práci vyplývá, že pro požadovaný stupeň stability je potřeba použití kombinace dvou metod sanací. A to buď pomocí kotvení a instalací přitěžovacích laviček v patách svahu nebo použití metody hřebíkováním doplněné rovněž o lavičky. Obě tyto varianty byly vyhodnoceny jako stabilní. Pro shrnutí všech uvažovaných variant a přehlednost byla přiložena tabulka (Tab. 3) v příloze č. 7 s výsledky podle výstupu programu plaxis podle uvažovaných variant.

Součástí této práce byla i celková ekonomická bilance navržených sanačních opatření. Z dostupného materiálu vyplývá, že z hlediska cenové relace je výhodnější varianta použití kotev v kombinaci s přitěžovacími lavičkami. S ohledem na toto kritérium by tato varianta mohla být považována za nejvhodnější.

Pro obě varianty je doporučen monitoring lokality, pro průkaznost úspěšnosti sanačního opatření.

## 8 Seznam použitých zdrojů

### 8.1 Seznam použité literatury

- [1] TURČKE, Peter; HULLA,Josef; BARTÁK, Jiří; VANÍČEK, Ivan; MASOPUST, Jan; ROZSYPAL, Alexandr. *Zakládání staveb*. Jaga group, s.r.o, Bratislava 2005. 302 s. ISBN 80-8076-023-3
- [2] ROZSYPAL, Alexandr. *Kontrolní sledování rizik v geotechnice*. Jaga group, s.r.o, Bratislava 2001. 200 s. ISBN 80-88-905-44-3
- [3] ČIMEK, Jiří; JESENÁK, Ján; EICHLER, Jaroslav; VANÍČEK, Ivan. *Mechanika zemin*. 1. vydání. Praha : SNTL - nakladatelství technické literatury, 1990. 388 s. ISBN 80-03-00428-4.
- [4] BAČANT, Zdeněk. *Zakládání staveb*. 3. vydání. Praha : SNTL - nakladatelství technické literatury, 1981. 363s.
- [5] DEMEK, Jaromír.,MACKOVČIN,Peter., *Hory a nížiny*. vyd.Brno: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2006. 580s. ISBN 80-86064-99-9.

## 8.2 Seznam norem

- [6] ČSN 73 6110:1995. Projektování místních komunikací.
- [7] ČSN CEN ISO/ TS 17 892-2 : Stanovení objemové hmotnosti jemnozrné zeminy
- [8] ČSN CEN ISO/TS 17 892-3 : Stanovení zdánlivé hustoty pevných částic zemin pomocí piknometru
- [9] ČSN CEN ISO / TS 17892-1 : Stanovení vlhkosti zeminy
- [10] ČSN CEN ISO / TS 17892-4 : 1.4 Stanovení zrnitosti zemin
- [11] ČSN CEN ISO / TS 17892-5 : 1.5 Stanovení stlačitelnosti zemin v edometru
- [12] ČSN CEN ISO / TS 17892-10 : Smyková krabicová zkouška
- [13] ČSN CEN ISO / TS 17892-12 : 1.6 Stanovení konzistenčních mezí
- [14] ČSN EN 1991-2 (736203) : Zatížení mostů dopravou

## 8.3 Seznam použitých elektronických dokumentů

- [15] *Odvhlčování staveb, geotechnika, statika budov* [online] [cit. 2011-11-17]. Mikropiloty a zemní kotvy. Dostupné z WWW: <<http://www.abastako.cz/631/mikropiloty/>>
- [16] *VSL System* [online] [cit. 2011-11-20]. Zemní kotvy. Dostupné z WWW: <[http://www.vsl.cz/cs/prod\\_kotvy.html](http://www.vsl.cz/cs/prod_kotvy.html)>
- [17] *Mechanika zemin II* [online] [cit. 2011-11-20]. Sanace sesuvů. Dostupné z WWW: <[http://labmz1.natur.cuni.cz/~bhc/s/mz2/mz2\\_4\\_www.pdf](http://labmz1.natur.cuni.cz/~bhc/s/mz2/mz2_4_www.pdf)>
- [18] *Česká geologická služba - geofond* [online] [cit. 2011-7-23]. Údaje o území . Dostupné z WWW: <<http://www.geofond.cz>>
- [19] *Mapy* [online] [cit. 2011-7-23]. Mapa území . Dostupné z WWW: < <http://www.mapy.cz>>

[20] *Minova*[online] [cit. 2011-10-2]. Injekční zavrtávací kotevní tyče typu TITAN. Dostupné z WWW: <<http://www.minova.cz/materialy/stavebnictvi/materialy-pro-kotveni>>

[21] *Centrum experimentální geotechniky*[online] [cit. 2011-10-8]. Objemová hmotnost přirozené vlhké zeminy.

Dostupné z WWW: <<http://ceg.fsv.cvut.cz/vyzkum/zkousky/zakladni-popisne-fyzikalni-vlastnosti/objemova-hmostnost-prirozene-vlahke-zeminy-3c1>>

[22] *Mechanika hornin* [online] [cit. 2011-11-17]. Svahové pohyby, sesuvy. Dostupné z WWW: <[http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/mech\\_hornin/mhig\\_8.pdf](http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/mech_hornin/mhig_8.pdf)>

[23] *Klasifikace sesuvů*[online] [cit. 2011-11-17] Klasifikace sesuvů.

Dostupné z WWW: <<http://departments.fsv.cvut.cz/k135/wwwold/webkurzy/ig/ig-web/sesuvy.html>>

[24] *Alternativní možnosti matematického modelování stability svahů sanovaných hřebíkováním* [online] [cit. 2011-11-19] Dostupné z WWW:

<<http://fast10.vsb.cz/science/seminar2007/pics/09.pdf>>

[25] *Silnice I/57 Hladké Zivotice obchvat* [online] [cit. 2011-8-12] Dostupné z WWW: <<http://www.dopravoprojekt.cz/cz/reference/silnicni-stavby/ostatni-silnice/silnice-i-57-hladke-zivotice-obchvat.html?foto=70>>

[26] *Letecké snímky z 60.let* [online] [cit. 2011-10-25] Dostupné

z WWW: <<http://www.google.mapy.cz>; <http://www.derne.cz/letecka-mapa-60let> >

[27] *Zakládání staveb*[online] [cit. 2011-11-11] Dostupné

z WWW: <<http://www.zakladani.cz/cz/horninove-kotvy>>

## 9 Seznam obrázků

(OBR. 1): ZNÁZORNĚNÍ MOŽNÉHO SESOUVÁNÍ A PLOUŽENÍ; ZDROJ [3].	3
(OBR. 2): PŘÍKLADY ŘÍZENÍ; ZDROJ[3].	5
(OBR. 3) MAPA MÍSTA SESUVU; ZDROJ [19].	6
(OBR. 4) FOTOGRAFIE RETENČNÍ NÁDRŽE; ZDROJ [25]	6
(OBR. 5) SROVNÁNÍ LETECKÝCH SNÍMKŮ Z ROKU 1955 A SATELITNÍ SNÍMKY Z DNEŠNÍCH INTERNETOVÝCH ZÁZNAMŮ; ZDROJ: [26]	7
(OBR. 6) MAPA GEOMORFOLOGICKÉHO ČLENĚNÍ ČR ZDROJ [18 ]	9
(OBR. 7) VLASTNÍ FOTODOKUMENTACE SVAHU; ZDROJ: [AUTOR, FOTO]	10
(OBR. 8) NÁKRES PROFILU SVAHU; ZDROJ [AUTOR, AUTOCAD2010]	11
(OBR.9) NÁKRES AKTUALIZOVANÉHO PROFILU SVAHU; ZDROJ [AUTOR, AUTOCAD2010]	11
(OBR.10) VRT GEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU A VÝŘEZ SITUACE Z PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE ZDROJ [DOKUMENTACE DOPRAVOPROJEKT BRNO S.R.O]	13
(OBR. 11) SCHEMATICKÝ NÁKRES VYJÁDRĚNÍ PÓROVITOSTI ZDROJ [21]	13
(OBR. 12) ROZKLAD SIL NA ROVINNÉ SMYKOVÉ PLOŠE BEZ PRŮSAKU VODY, ZDROJ: [AUTOR, AUTOCAD2010]	21
(OBR. 13) ROZKLAD SIL NA ROVINNÉ SMYKOVÉ PLOŠE S PRŮSAKEM VODY, ZDROJ: [AUTOR, AUTOCAD2010]	22
(OBR. 14) ROZKLAD SIL NA KRUHOVÉ SMYKOVÉ PLOŠE, ZDROJ: [AUTOR, AUTOCAD2010]	22
(OBR. 15) MODEL, SE ZADANÝMI VŠEMI NUTNÝMI PRVKY A PARAMETRY; ZDROJ [AUTOR, PLAXIS 2D 8.2]	24
(OBR. 16) ZADÁNÍ ZATÍŽENÍ;	25
ZDROJ [AUTOR, PLAXIS 2D 8.2.]	25
(OBR. 17) GENERACE SÍTĚ, ZDROJ [AUTOR, PLAXIS 2D 8.2]	26
(OBR. 18) FÁZOVÁNÍ MODELU VE VÝPOČTOVÉ FÁZI, ZDROJ [AUTOR, PLAXIS 2D,8.2]	26
(OBR. 19) PARAMETRY VOZOVKY; ZDROJ [AUTOR, PLAXIS 2D 8.2]	27
(OBR. 20). VÝPOČET STUPNĚ STABILITY PO ZATÍŽENÍ NÁSYPU KOMUNIKACÍ A VYPOČÍTANÝM ZATÍŽENÍM; ZDROJ [AUTOR, PLAXIS 2D 8.2]	28
(OBR. 21) PŘÍKLAD APLIKACE TECHNOLOGIE HŘEBÍKOVÁNÍ ; ZDROJ[27]	31
(OBR. 22) NÁSYP NA NEÚNOSNÉM PODLOŽÍ; ZDROJ [AUTOR, AUTOCAD2010]	32
(OBR. 23) OBECNÝ POPIS ČÁSTÍ KOTVY; ZDROJ [16]	32



(OBR. 24) ODVODŇOVACÍ DRENÁŽE V PATĚ SVAHU; ZDROJ [AUTOR] .....	34
(OBR. 25) FÁZOVÁNÍ VÝPOČTU METODY HŘEBÍKOVÁNÍ; ZDROJ [AUTOR, PLAXIS 2D 8,2] .....	35
(OBR. 26) VÝPIS PARAMETRŮ POUŽITÉ VÝZTUŽE; ZDROJ [20] .....	35
(OBR. 27) ZADÁVANÉ PARAMETRY PRO POUŽITÉ PRVKY DO VÝPOČTU; ZDROJ[AUTOR, PLAXIS 2D 8,2] .....	37
(OBR.29) CELKOVÉ DEFORMACE PO INSTALACI HŘEBÍKŮ; ZDROJ [AUTOR, PLAXIS 2D].....	39
(OBR. 30) VÝPOČET STUPNĚ STABILITY PO INSTALACI KOTEV; ZDROJ [AUTOR, PLAXIS 2D 8,2] .....	41
(OBR. 31) A) PRŮBĚH SMYKOVÉ PLOCHY PŘED INSTALACI KOTEV; ZDROJ [AUTOR, PLAXIS2D 8,2] .....	42
(OBR. 31) B) PRŮBĚH SMYKOVÉ PLOCHY PO INSTALACI KOTEV; ZDROJ [AUTOR, PLAXIS2D 8,2] .....	42
(OBR. 32) CELKOVÉ DEFORMACE V NÁSYPU PO INSTALACI METODY HŘEBÍKOVÁNÍM A LAVIČEK; ZDROJ [AUTOR, PLAXIS 2D, 8.2] .....	43
(OBR. 33) PRŮBĚH SMYKOVÉ PLOCHY PO KOBINOVANÉM SANAČNÍM OPATŘENÍ LAVIČKOU A METODOU HŘEBÍKOVÁNÍ; ZDROJ [AUTOR, PLAXIS 2D, 8.2].....	44
(OBR. 34) PRŮBĚH SMYKOVÉ PLOCHY PO KOBINOVANÉM SANAČNÍCH OPATŘENÍ LAVIČEK A KOTEV; ZDROJ [AUTOR, PLAXIS 2D, 8.2].....	44

## 10 Seznam tabulek

(TAB. 1) SEZNAM VSTUPNÍCH PARAMETRŮ ZEMIN ZADÁVANÝCH DO GEOMETRIE; ZDROJ [AUTOR, EXCEL 2007].....	26
(TAB. 2) EKONOMICKÁ BILANCE SANAČNÍCH OPATŘENÍ .....	44
(TAB. 3) ZÁVĚREČNÝ SOUHRN ŘEŠENÝCH VARIANT ; ZDROJ [AUTOR, EXCEL 2007].....	PŘÍLOHA Č. 7

## 11 Seznam příloh

**PŘÍLOHA Č. 1** - VÝPOČET LABORATORNÍCH ZKOUŠEK

**PŘÍLOHA Č. 2** - VÝPOČET ZATÍŽENÍ NA VOZOVKU

**PŘÍLOHA Č. 3** - VARIANTY SKLADEB ŘEŠENÉHO NÁSYPU

**PŘÍLOHA Č. 4** - VÝSTUPY Z PROGRAMU PLAXIS 2D 8.2 PRO VARIANTU 1

**PŘÍLOHA Č. 5** - VÝSTUPY Z PROGRAMU PLAXIS 2D 8.2 PRO VARIANTU 2

**PŘÍLOHA Č. 6** - VÝSTUPY Z PROGRAMU GEO 5

**PŘÍLOHA Č. 7** – TABULKA SHRNUÍ VŠECH ŘEŠENÍ